ಪರಮಾಣು ಕೇಂದ್ರ ಮತ್ತು ಅದರ ಶಕ್ತಿ

ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್

ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ
ಬೆಂಗಳೂರು

ಪರಮಾಣು ಕೇಂದ್ರ ಮತ್ತು ಅದರ ಶಕ್ತಿ

ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್

ಪ್ರಕಟಣ ಮತ್ತು ಪ್ರಚಾರೋಪನ್ಯಾಸ ವಿಭಾಗ
ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ, ಬೆಂಗಳೂರು

ಪಠ್ಯೇತರ ಪುಸ್ತಕ 4

ಪ್ರಧಾನ ಸಂಪಾದಕರು : ಡಾ|| ಜಿ. ಎಸ್. ಶಿವರುದ್ರಪ್ಪ

ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ ಸಂಪಾದಕ ಸಮಿತಿ:

ಡಾ|| ಕೆ. ಎನ್. ಕುಚೇಲ
ಪ್ರೊ|| ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್
ಪ್ರೊ|| ಬಿ. ವಿ. ನಾರಾಯಣರಾವ್

ಪ್ರಕಾಶಕರು :

ಕೆ. ಸಿ. ಶಿವಪ್ಪ, ಕೋ-ಆರ್ಡಿನೇಟರ್
ಪ್ರಕಟಣ ಮತ್ತು ಪ್ರಚಾರೋಪನ್ಯಾಸ ವಿಭಾಗ
ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ, ಬೆಂಗಳೂರು

ಬೆಲೆ : ರೂ. 4–00

ಮುದ್ರಣ : ಸಂಯುಕ್ತ ಕರ್ನಾಟಕ, ಬೆಂಗಳೂರು–25

ಮುನ್ನುಡಿ

ಅನೇಕ ವರ್ಷಗಳ ಪರಭಾಷಾ ಪ್ರಭುತ್ವ, ಶಿಕ್ಷಣಮಾಧ್ಯಮವಾಗಲು ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಭಾಷೆಯ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ಬಗ್ಗೆ ಇರುವ ಸಂದೇಹ, ಮತ್ತು ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಭಾಷೆಯಲ್ಲಿ ಯೋಗ್ಯ ಗ್ರಂಥಗಳ ಕೊರತೆ– ಈ ಸಂದೇಹಗಳು ಕನ್ನಡ ನಾಡಿನಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ವಿಚಾರವಂತರನ್ನು ದಂಗುಬಡಿಸಿ, ಕನ್ನಡ ಭಾಷೆಗೆ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಶಿಕ್ಷಣ ಮಾಧ್ಯಮವಾಗಲು ಅಡ್ಡಿಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಿವೆ. ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳ ಸಾಂಸ್ಕೃತಿಕ ಮತ್ತು ಸಾಹಿತ್ಯಿಕ ಪರಂಪರೆಯುಳ್ಳ ಕನ್ನಡ ಭಾಷೆಗೆ, ಶಿಕ್ಷಣ ಮತ್ತು ವಿಜ್ಞಾನ ಇತ್ಯಾದಿ ವಿಷಯಗಳ ವೈಚಾರಿಕ ಮಾಧ್ಯಮವಾಗಲು ಶಕ್ತಿ ಇಲ್ಲ ಎನ್ನುವುದು ಅಸಮಂಜಸ ; ಅದನ್ನೀಗ ನಂಬಲೂ ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ.

ಕಳೆದ ಅರ್ಧ ಶತಮಾನದಿಂದ ಮೈಸೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯವು ಈ ದಿಶೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಶಂಸಾರ್ಹ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಶ್ರಮಿಸಿ ನಿರೀಕ್ಷಿತ ಸಫಲತೆಯನ್ನು ಪಡೆದಿದೆ ; ಕರ್ನಾಟಕ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯವೂ ಇಪ್ಪತ್ತು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಒಳ್ಳೇ ಸಮಾಧಾನಕಾರಕ ಪ್ರಗತಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯವು ಜನ್ಮ ತಾಳಿದ್ದು 1964–65ರಲ್ಲಿ. ಮುಂದೆ ಅಲ್ಪಾವಧಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಅಂದರೆ 1967 ರಲ್ಲಿ ಉಚ್ಚ ಶಿಕ್ಷಣ ಮತ್ತು ಉನ್ನತ ಮಟ್ಟದ ಜ್ಞಾನ ಕನ್ನಡದಲ್ಲಿಯೇ ದೊರೆಯುವಂತೆ ಯತ್ನಿಸಬೇಕೆಂಬ ನಿರ್ಧಾರ ಕೈಕೊಂಡಿತು. ಪಠ್ಯ ಪುಸ್ತಕಗಳ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಪ್ರವೃತ್ತವಾಯಿತು. ಇತರ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳಂತೆ ಸರಕಾರದ ಸಹಾಯದಿಂದ ಈ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯವೂ ಪಠ್ಯ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಕಟಣ ವಿಭಾಗವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ರೂಪಿಸಿದೆ ; ಹಲವಾರು ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದೆ.

ದಿನದಿನಕ್ಕೆ ಮಾನವಿಕ ಮತ್ತು ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಜ್ಞಾನ ಭರದಿಂದ ಬೆಳೆಯುತ್ತಿದೆ. ಪ್ರಗತಿಪರ ಜ್ಞಾನಾರ್ಜನೆಗೆ ಯೋಗ್ಯ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಿಗೆ ಒದಗಿಸುವ ಸಾಹಸದಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಅಧ್ಯಾಪಕರು ತೊಡಗಿದ್ದಾರೆ. ಅವರ ಶ್ರದ್ಧೆ ಸಹಕಾರಗಳಿಂದ ನಮ್ಮ ಕಾರ್ಯ ಮತ್ತು ಶಿಕ್ಷಣ ಮಟ್ಟ ಸಾರ್ಥಕ ನಿಲುವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವುದರಲ್ಲಿ ಸಂದೇಹವೇ ಇಲ್ಲ.

ಟಿ. ಕೆ. ತುಕೋಳ್
ಉಪಕುಲಪತಿ
ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ

ನಾಲ್ಕು ಮಾತು

ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಂತಹ ಉನ್ನತ ಶಿಕ್ಷಣ ವಲಯದಲ್ಲಿ, ಭಾರತದ ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಭಾಷೆಗಳು ಶಿಕ್ಷಣಮಾಧ್ಯಮವಾಗಬಲ್ಲವೆ, ಒಂದು ವೇಳೆ ಆದರೆ ಬಹು ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಭಾಷೆಗಳನ್ನುಳ್ಳ ಭಾರತದಂತಹ ದೇಶದಲ್ಲಿ ಅದರ ಪರಿಣಾಮಗಳೇನು – ಎನ್ನುವ ಚರ್ಚೆ ಇನ್ನೂ ಈ ದೇಶದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಲೇ ಇದೆ. ಈಜು ಬಾರದೆ ನೀರಿಗಿಳಿಯುವುದು ಹೇಗೆ ಎಂಬಂತಿರುವ ಈ ಚರ್ಚೆಗಳನ್ನು ಅತ್ತ ಬಿಟ್ಟು, ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಭಾಷೆಗಳನ್ನು ಮೊದಲು ಶಿಕ್ಷಣಮಾಧ್ಯಮವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡುವ ಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರವೃತ್ತವಾಗುವುದೊಂದೇ ನಮಗಿರುವ ದಾರಿ. ಏಕೆಂದರೆ, ಯಾವ ಶಿಕ್ಷಣವೇ ಆಗಲಿ ನಿಜವಾಗಿಯೂ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗುವುದು, ನಮಗೆ ಪರಂಪರಾಗತವಾದ ಹಾಗೂ ಪರಿಸರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಚಲಿತವಾದ ನಮ್ಮ ನಮ್ಮ ಭಾಷೆಯ ಮೂಲಕವೇ ಹೊರತು ಬೇರೆ ಭಾಷೆಯ ಮೂಲಕ ಖಂಡಿತ ಅಲ್ಲ. ಹಾಗೆ ಆ ಭಾಷೆಯನ್ನು ಅಭಿವ್ಯಕ್ತಿಯ ಮಾಧ್ಯಮವನ್ನಾಗಿ ಪಳಗಿಸಿಕೊಳ್ಳಬಲ್ಲ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಆಯಾ ಭಾಷೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಅಭಿಮಾನವುಳ್ಳ, ತಿಳಿವಳಿಕೆಯುಳ್ಳ ವಿಚಾರವಂತರನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿದೆ. ಹೀಗೆ ವಿಚಾರವಂತರನ್ನು ಪ್ರಚೋದಿಸುವ, ಮತ್ತು ಅವರ ಅಭಿವ್ಯಕ್ತಿಗೆ ಅವಕಾಶಮಾಡಿಕೊಡುವ ಕಾರ್ಯವನ್ನು, ಕನ್ನಡ ನಾಡಿನ ಮೂರೂ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ, ಸರ್ಕಾರದ ಸಹಾಯದಿಂದ ರಚಿತವಾಗಿರುವ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಕಟಣ ವಿಭಾಗ ಕೈಕೊಂಡು, ಈಗಾಗಲೆ ತಕ್ಕ ಪ್ರಮಾಣದ ಪಠ್ಯ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದೆ.

ಈ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಕಟಣ ವಿಭಾಗದ ಕಾರ್ಯ ವಿಧಾನ ಹೀಗಿದೆ: ಮಾನವಿಕ ಹಾಗೂ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಪರಿಣತರಾದವರನ್ನು, ಅದರಲ್ಲಿಯೂ ಬಹುಕಾಲ ಬೋಧಕರಾದವರನ್ನು ಆಯಾ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಕುರಿತು ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಬರೆಯಲು ಕೇಳಿಕೊಳ್ಳಲಾಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆ ರಚಿತವಾದ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕಗಳ ಹಸ್ತಪ್ರತಿಗಳನ್ನು ಭಾಷಾತಜ್ಞರ ಪರಿಶೀಲನೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿ, ಆ ಪಠ್ಯ ವಿಷಯದ ಭಾಷೆಯ ನಿರ್ದುಷ್ಟತೆಯನ್ನು ಖಚಿತಪಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಲಾಗುತ್ತದೆ. ಅನಂತರ ಅದು ಸೊಗಸಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಚ್ಚಾಗಿ ಬಂದು ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳ ಆವಶ್ಯಕತೆಗೆ ಒದಗುತ್ತದೆ. ಇಂಥ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕಗಳು ಮೂಲತಃ ಆಯಾ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಅಭ್ಯಸಿಸುವ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳನ್ನುದ್ದೇಶಿಸಿ ರಚಿತವಾಗಿದ್ದರೂ ಅವು ಆಯಾ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಆಸಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಇತರರಿಗೂ ಉಪಯೋಗವಾಗಬೇಕೆನ್ನುವ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಹೊರತಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ.

ಈಗ ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಕನ್ನಡ ಐಚ್ಛಿಕ ಮಾಧ್ಯಮವಾಗಿದೆ.

ವರ್ಷದಿಂದ ವರ್ಷಕ್ಕೆ ಈ ಐಚ್ಛಿಕ ಮಾಧ್ಯಮವು ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಮಾಧ್ಯಮವಾಗುವ ಸೂಚನೆಗಳು ಕಂಡುಬರುತ್ತಿವೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಪಠ್ಯ ಪುಸ್ತಕಗಳು ಬರಬೇಕಾಗಿದೆ. ಈ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ, ಒಂದೊಂದು ವಿಷಯದಲ್ಲೂ ತೀವ್ರ ಗತಿಯಿಂದ ಬೆಳೆಯುತ್ತಿರುವ ಸಮಕಾಲೀನ ವೈಚಾರಿಕ ಪ್ರಗತಿಯನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ, ಸ್ವಭಾಷಾ ಮಾಧ್ಯಮದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸುವ ಸವಾಲನ್ನು ನಾವು ಎದುರಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಈ ಮಹಾಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ, ಈ ಯೋಜನೆಗೆ ಬೆಂಬಲವಾಗಿ, ಕನ್ನಡ ಪಠ್ಯ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಕಟಣ ವಿಭಾಗಕ್ಕೆ ಎಲ್ಲ ರೀತಿಯ ಪ್ರೋತ್ಸಾಹವನ್ನು ನೀಡುತ್ತಿರುವ, ಪ್ರಕಟವಾಗುತ್ತಿರುವ ಪುಸ್ತಕಗಳಿಗೆ ಮುನ್ನುಡಿ ಬರೆದು ಹರಸುತ್ತಿರುವ ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಮಾನ್ಯ ಉಪಕುಲಪತಿಗಳಿಗೆ, ಇನ್ನೆಲ್ಲ ಸಹಾಯ ಸಹಕಾರಗಳನ್ನು ನೀಡುತ್ತಿರುವ ರಿಜಿಸ್ಟ್ರಾರ್ ಅವರಿಗೆ ನಮ್ಮ ವಂದನೆಗಳು.

ಪ್ರಕಟಣ ಮತ್ತು ಪ್ರಚಾರೋಪನ್ಯಾಸ ವಿಭಾಗದ ಸಂಘಟಕರಾಗಿ, ಅತ್ಯಂತ ಉತ್ಸಾಹದಿಂದ ಈ ಕಾರ್ಯವನ್ನು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತಿರುವ ಶ್ರೀ ಕೆ. ಸಿ ಶಿವಪ್ಪನವರಿಗೆ ನಮ್ಮ ಅಭಿನಂದನೆಗಳು.

ಜಿ. ಎಸ್. ಶಿವರುದ್ರಪ್ಪ
ಅಧ್ಯಕ್ಷರು
ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕ ಸಮಿತಿ

ಅರಿಕೆ

ಪರಮಾಣುವಿನ ಹೊರ ರಚನೆಯ ವಿಷಯವನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ ಪ್ರಕಟವಾಗಿರುವ 'ಪರಮಾಣು ಮತ್ತು ಅದರ ರಚನೆ' ಎಂಬ ಪಠ್ಯ ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶ ಮತ್ತು ಅದರ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಈ ಎರಡು ಪುಸ್ತಕಗಳು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಅದರ ಶಕ್ತಿಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸಂಪೂರ್ಣವಾದ ಪ್ರತಿಪಾದನೆಯನ್ನು ಕೊಡಲು ಪ್ರಯತ್ನಮಾಡಿದೆ.

ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಬಿ.ಎಸ್‌ಸಿ. ಕೊನೆಯ ತರಗತಿಯಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಯನಮಾಡುವ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಿಗೆ ಸಹಾಯಕವಾಗುವ ಹಾಗೆ ಈ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಬರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೇ ಅಲ್ಲದೆ, ವಿಜ್ಞಾನವನ್ನು ಐಚ್ಛಿಕವಾಗಿ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳದಿರುವ ಇತರ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಿಗೂ ಮತ್ತು ಸರ್ವೇಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ನಡೆದಿರುವ ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ವಿಚಾರವನ್ನು ಶಾಸ್ತ್ರೀಯ ತಳಹದಿಯಿಂದ ತಿಳಿಯಲು ಉತ್ಸುಕರಾಗಿರುವ ವಾಚಕರಿಗೂ ಉಪಯೋಗವಾಗುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಲಾಗಿದೆ. ಗಹನವಾದ ವಿಚಾರಗಳನ್ನು ಆದಷ್ಟು ಸರಳ ಶೈಲಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಸುಲಭವಾಗಿ ವಿಷಯಗ್ರಹಣವಾಗುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಬರೆಯಲು ಪ್ರಯತ್ನಮಾಡಿದೆ. ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಮನೋಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಾಚಕರಿಗೆ ಆದಷ್ಟು ಆದರಣೀಯವಾದ ರೀತಿಯನ್ನು ಅನುಸರಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದ ಚರಿತ್ರೆ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಒಂದು ಅಂಗವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅದರ ರಚನೆಯು ಮೂಲಭೂತವಾದ ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಎಲ್ಲ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಶಾಖೆಗಳನ್ನೂ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯು ಅಗಾಧವಾಗಿದ್ದು ಅದನ್ನು ಹೊರಕ್ಕೆ ತೆಗೆದು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಮಾರ್ಗಗಳು ಗೊತ್ತಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಶುದ್ಧ ಶಾಸ್ತ್ರೀಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ ಇಡೀ ಮಾನವಸಮುದಾಯದ ನಿತ್ಯ ಜೀವನಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡಿರುವ ಪರಿಣಾಮಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಅತಿ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಪಡೆದಿದೆ. ಈ ಎಲ್ಲ ದೃಷ್ಟಿಗಳಿಂದಲೂ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಹಸ್ಯವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದುದು ಪ್ರತಿಯೊಬ್ಬ ನಾಗರಿಕ ಪ್ರಜೆಯ ಕರ್ತವ್ಯವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಗಾತ್ರವು (ತ್ರಿಜ್ಯವು ಸುಮಾರು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ.) ಎಷ್ಟು ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣವಾದುದೋ ಅದರ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ವಿಷಯಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳೂ ಅಷ್ಟು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿರಬೇಕು. ಇಷ್ಟಾದರೂ ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ವರ್ತಿಸುವ ಬಲಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ತಿಳಿಯಲು ಇನ್ನೂ ಸಾಧ್ಯವಾಗಿಲ್ಲ. ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಬೇಕಾದ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಲು ಬೃಹದಾಕಾರದ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹ ಮಾಡಬೇಕು. ಹೀಗಾಗಿ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯೂ ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟದ ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಜ್ಞಾನವೂ (Technology) ಜೊತೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಸಾಗಬೇಕಾಗಿದೆ. ಈ ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ಈ ವಿಚಾರಗಳನ್ನು ತಿಳಿಸುವ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಈ ವಿಷಯವನ್ನು ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಒಟ್ಟನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಪ್ರಪಂಚದ ನಾನಾ ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ಅತ್ಯಂತ ಮೇಧಾವಿಗಳಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯ ಫಲವಾಗಿಯೂ, ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಉನ್ನತ ಕುಶಲತೆಯನ್ನು ಪಡೆದಿರುವ ಪ್ರವೀಣರ ಸಹಕಾರದ ಫಲವಾಗಿಯೂ, ಅತಿ ಗಹನವಾದ ವಿಚಾರಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಇಂದು ಸಾಧ್ಯ ವಾಗಿದೆ. ಹೆಚ್ಚು ಹುರುಪಿನಿಂದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮುಂದುವರಿಯುತ್ತಲೇ ಇವೆ. ಈ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ವೃದ್ಧಿಯಾಗಬೇಕಾದರೆ, ರಾಷ್ಟ್ರಗಳು ಕೋಟ್ಯಂತರ ರೂಪಾಯಿ ಗಳ ಖರ್ಚನ್ನೂ ವಹಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಇವುಗಳ ಪ್ರಯೋಜನಗಳನ್ನು ಶುದ್ಧ ಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಅಪಾರವಾದ ಸಾರ್ವಜನಿಕ ಲಾಭ ಉಪಯೋಗಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಗಮನಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಪ್ರಗತಿಯೂ ಇರುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಿರುವ ವಿಷಯಗಳು ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಎಲ್ಲ ದೃಷ್ಟಿ ಗಳಿಂದಲೂ ಗ್ರಾಹ್ಯವಾಗುವಂತೆ ನಿರೂಪಿತವಾಗಿವೆ. ಔಪಯೋಗಿಕ ಭಾಗಗಳನ್ನು ವಿವರಗಳೊಂದಿಗೆ ವಿಶದಪಡಿಸಿದೆ. ಕೊನೆಯ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಇಂದು ಎಲ್ಲರ ಮನಸ್ಸನ್ನೂ ಕಲಕುತ್ತಿರುವ ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪಮಟ್ಟಿಗೆ ಪ್ರಸ್ತಾಪಮಾಡಿದೆ. ವಿಜ್ಞಾನದ ಧ್ಯೇಯಗಳನ್ನೂ ಅವುಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನೂ ತನ್ನ ನಿತ್ಯಜೀವನದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸುವಾಗ ತಾಳಬೇಕಾದ ಮನೋಭಾವವನ್ನೂ ಸೂಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಮಾನವನು ಮನುಷ್ಯತ್ವವನ್ನು ಉಳಿಸಿಕೊಂಡು ತನ್ನ ಉಜ್ಜ್ವಲ ಭವಿಷ್ಯವನ್ನು ಸಾಧಿಸಬೇಕಾದರೆ ಅವನು ಹಿಂಸಾತ್ಮಕ ಹಾದಿಯನ್ನು ತೊರೆದು, ಮಾನವೀಯತೆಯ ಗುಣಗಳನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿ ಸಮಾಜದ ಹಿತವನ್ನೇ ಧ್ಯೇಯವನ್ನಾಗಿ ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದದ್ದರ ಆವಶ್ಯಕತೆಯನ್ನು ಒತ್ತಿಹೇಳಲಾಗಿದೆ.

ಇಷ್ಟು ಗಹನವೂ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವೂ ಆದ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಹಸ್ಯವನ್ನು ಶಾಸ್ತ್ರೀಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನಿರೂಪಿಸಿ, ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಅಭ್ಯಾಸಮಾಡುವ

ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಿಗೆ ಉಪಯೋಗವಾಗುವಂತೆಯೂ, ಹಾಗೆಯೇ ಜನಸಾಮಾನ್ಯದ ತಿಳಿವಳಿಕೆಯ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಲು ಸಹಾಯಕವಾಗುವಂತೆಯೂ, ಕನ್ನಡ ಮಾಧ್ಯಮದಲ್ಲಿ ಬರೆದು ನನ್ನ ಅಲ್ಪ ಸೇವೆಯನ್ನು ಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿರುವ ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಅಧಿಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಕೃತಜ್ಞತೆಯನ್ನು ಸಲ್ಲಿಸುವುದು ನನ್ನ ಕರ್ತವ್ಯವಾಗಿದೆ.

ಈ ಪುಸ್ತಕಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಗ್ರಹವಾಗಿರುವ ವಿಷಯಗಳ ವಿಚಾರದಲ್ಲಿ ಅನುಸರಿಸ ಬೇಕಾದ ಕ್ರಮವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿ, ಅಮೂಲ್ಯವಾದ ಸಲಹೆಗಳನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿರುವ ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ ವಿಭಾಗದ ಮುಖ್ಯಸ್ಥರಾದ ಪ್ರಧಾನ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕ ಡಾ|| ಕೆ. ಎನ್. ಕುಚೇಲರವರಿಗೆ ನನ್ನ ಹೃತ್ಪೂರ್ವಕವಾದ ವಂದನೆ ಗಳನ್ನು ಅರ್ಪಿಸುವುದು ನನಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಸಂತೋಷವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತದೆ.

ಇಂಥ ಗಹನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಭಾಗಗಳನ್ನು ಕನ್ನಡ ಮಾಧ್ಯಮದಲ್ಲಿ ಪ್ರಥಮ ಪ್ರಯತ್ನವಾಗಿ ತೊಡಗಿ ನಿರೂಪಿಸುವಾಗ ಹಲವಾರು ನ್ಯೂನತೆಗಳು ಕಂಡುಬರುವುದು ಸಹಜ. ಲೋಪದೋಷಗಳನ್ನು ತಿಳಿಸಿ ಪುಸ್ತಕಗಳು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಉಪಯುಕ್ತ ವಾಗುವಂತೆ ಸಲಹೆಗಳನ್ನು ಕೊಡುವ ವಾಚಕವೃಂದದವರಿಗೆ ನಾನು ಋಣಿ ಯಾಗಿರುತ್ತೇನೆ.

ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್

ಪರಿವಿಡಿ

1. ಪ್ರವೇಶ 1

2. ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ 24

3. ಕಣವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳು ಮತ್ತು ನಿರ್ದೇಶಕ ಸಾಧನಗಳು 54

4. ಕೃತಕ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆ 91

5. ಪ್ರಚೋದಿತ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ 114

6. ಪರಮಾಣು ವಿದಲನ ಮತ್ತು ಬೀಜಾಂಶದ ಶಕ್ತಿ– ಪರಮಾಣು ಸಂಯೋಜನೆ 125

7. ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು 150

8. ಪರಮಾಣು ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳು 173

9. ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳು 193

10. ಪರಮಾಣುಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಮಾನವನ ಭವಿಷ್ಯ 214

ಅಧ್ಯಾಯ 1

ಪ್ರವೇಶ

1.1 ಪರಮಾಣು ಕೇಂದ್ರದ ರಚನೆ

ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಡಾಲ್ಟನ್ ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಅಣುಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದೊಂದು ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತು (element) ವಿನ ಭೌತ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ರೂಪಿಸತಕ್ಕ ಒಂದು ವೈಯಕ್ತಿಕ, ಹಾಗೂ ಅಭೇದ್ಯವಾದ, ಪರಮಾಣುವು ಇರುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕವನ್ನೇ ಮಾನವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ತೂಕಗಳನ್ನೂ ನಿಖರವಾಗಿ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ತೂಕಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ರಚಿಸಲಾದ ಒಂದು ಕ್ರಮಬದ್ಧವಾದ ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕವೂ (periodic table) ಮೆಂಡಲೀಫ್‌ನ ಪರಿಶ್ರಮದಿಂದ ನಿರ್ಮಾಣವಾಯಿತು. ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಸಾಮ್ಯಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ವಿಶೇಷವಾದ ಪ್ರಗತಿಯು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.

ಅನಿಲಗಳ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ವಹನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶದಿಂದ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ನಂತರ ನವೀನ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಉದಯವಾಯಿತೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಅಲ್ಲಿಂದೀಚೆಗೆ ನಡೆಸಲಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳೆಲ್ಲವೂ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯ ಚರಿತ್ರೆಯ ಅಂಗಗಳೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಪರಮಾಣು ಅಭೇದ್ಯವಲ್ಲವೆಂದೂ ಅದಕ್ಕೂ ಒಂದು ವಿಶಿಷ್ಟ ರಚನೆಯಿದೆಯೆಂದೂ ಗೋಚರವಾಯಿತು. ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಏಕರೂಪತೆಯೂ ಇರುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಭಾಗಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರ (nucleus). ಎರಡನೆಯದು ಕೇಂದ್ರದ ಹೊರಭಾಗದಲ್ಲಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು (extra-nuclear electronic configuration). ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವು ನಿರ್ವಿದ್ಯುತ್ (neutral) ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ ವಿದ್ಯುದಂಶದ [illegible]

ಮೊತ್ತವು ಧನವಿದ್ಯುತ್ (positive charge) ಆಗಿದ್ದು ಹೊರಗಣ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಂಶಕ್ಕೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, 'e' ಎಂಬುದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಇರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು Z ಆಗಿದ್ದರೆ, ಇವುಗಳ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಂಶವು $-Ze$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಕೇಂದ್ರದ ಮೊತ್ತ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶವು $+Ze$ ಆಗಿರಬೇಕು. ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕದ ಬಹು ಭಾಗವು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಸಂಗ್ರಹವಾಗಿರಬೇಕು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ಗಾತ್ರ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನೂ ಅಂದಾಜುಮಾಡಿ ಅದರ ತ್ರಿಜ್ಯವು (nuclear radius) ಸುಮಾರು 10^{-12} ಸೆಂ. ಮೀ. ಆಗಿರಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಯಿತು. ಕೇಂದ್ರಕ್ಕೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೂ ಇರುವ ಅಂತರವು 10^{-8} ಸೆಂ. ಮೀ. ಆಗಿದ್ದು ಇದನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನ ತ್ರಿಜ್ಯ (atomic radius) ವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಬಾಹ್ಯ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಜೋಡಣೆ, ವಿನ್ಯಾಸ ಮತ್ತು ಚಲನವಲನಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳನ್ನೂ ಈಗಾಗಲೇ ಒಂದು ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಚಾರಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಲಾಗುವುದು.

1.2 ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಅಂಗವಾದ ಅದರ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಬೀಜಾಂಶ (nucleus) ಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ವಿಚಾರವು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದುದು 1896 ರಲ್ಲಿ ಬೆಕರಲ್ (Becquerel) ನಡೆಸಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ. ಆಗತಾನೆ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮತ್ತು ಲಕ್ಷಣಗಳು ಮತ್ತು x–ಕಿರಣಗಳ ಗುಣಗಳು ಮುಂತಾದುವುಗಳ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬಿದ್ದ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದುವು. ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿಯೇ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಕುತೂಹಲವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಹುರುಪುಗೊಳಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಬೆಕರಲ್ ಹೊರಗೆಡಹಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಗಳಾದುವು. ಇವುಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ (radioactivity) ಯೆಂಬ ಹೆಸರಿನಿಂದ ಈಗ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿವೆ. ಇದರ ಮಹತ್ತ್ವವೇನೆಂದರೆ, ಇದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಂದ ಕೆಲವು ಕಿರಣಗಳು ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವುದರಿಂದ ಆ ವಸ್ತುವಿನ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೇ ಬದಲಾಯಿಸುವ ಸಂಭವವುಂಟು. ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಅನಿಯಂತ್ರಿತವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದ ಈ ಸಂಭವದ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ

ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಸಾಧಿಸುವ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಈ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಮುಖ್ಯವಾಗಿದೆ.

'ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ' ಎಂದರೆ ಒಂದು ಮೂಲಧಾತುವಿನಿಂದ ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಚಿಮ್ಮುವಂತೆ ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿ. ಯುರೇನಿಯಂ, ಪೊಲೊನಿಯಂ ಮುಂತಾದ ಅತಿ ಭಾರವಾದ (ಧಾತುಗಳ ಪುನರಾವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದ ಕೊನೆಯ ಸ್ಥಾನಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ) ಧಾತುಗಳಿಂದ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೂ, ಅನಿಯಂತ್ರಿತವಾಗಿಯೂ, ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು ವಿಸರ್ಜನೆಯಾಗುತ್ತಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಬೆಕರಲ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದುದು ಒಂದು ಆಕಸ್ಮಿಕವಾದ ಘಟನೆ. ಯುರೇನಿಯಂ, ಮತ್ತು ಪೊಟಾಸಿಯಂಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಸಲ್ಫೇಟ್ ವಸ್ತುವನ್ನು ಒಂದು ಕಾಗದದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತಿ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗಮಂದಿರದಲ್ಲಿದ್ದ ಮೇಜಿನ ಒಂದು ಅರೆಯಲ್ಲಿ ಮುಚ್ಚಿಟ್ಟಿದ್ದನು. ಅದೇ ಅರೆಯಲ್ಲಿಯೇ ದಪ್ಪವಾದ ಕಪ್ಪುಕಾಗದಗಳಲ್ಲಿ ಮುಚ್ಚಿಟ್ಟಿದ್ದ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ತಟ್ಟೆಗಳೂ (photographic plates) ಇದ್ದುವು. ಸ್ವಲ್ಪವೂ ಹೊರಗಿನ ಬೆಳಕು ಬೀಳದ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ x-ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದ ಕೊಠಡಿಯಿದ್ದಿತು. ಹೊರಗಿನ ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿಯೂ ಸೂರ್ಯರಶ್ಮಿಯಿಲ್ಲದ ಮೇಘಾಚ್ಛಾದಿತ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಿದ್ದಿತು. ಹೀಗಿರುವಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ದಿವಸಗಳ ನಂತರ ಮೇಜಿನ ಅರೆಯಲ್ಲಿದ್ದ ಛಾಯಾಚಿತ್ರದ ತಟ್ಟೆಗಳು ಕೆಟ್ಟುಹೋಗಿದ್ದುವು. ಇವುಗಳ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಬೆಳಕೂ ಬಿದ್ದಿರುವ ಸಂಭವವಿಲ್ಲದಿರುವಾಗ ಆ ತಟ್ಟೆಗಳಾದರೂ ಕೆಡುವುದಕ್ಕೆ ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಅತಿ ಪ್ರಭಾವಯುತವಾದ ಮತ್ತು ಕಣ್ಣಿಗೆ ಗೋಚರವಾಗದ ಬೆಳಕು ಕಾರಣವಾಗಿರಬೇಕು ಎಂದು ಊಹಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಇಂಥ ಬೆಳಕು—ಅದೇ ಅರೆಯಲ್ಲಿದ್ದ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಅವ್ಯಕ್ತ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು ಕಪ್ಪುಕಾಗದಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ತೂರಿ ಆ ತಟ್ಟೆಗಳನ್ನು ತಾಕುವಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕೆಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ ಹೊಳೆಯಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನೇ ಮುಂದುವರಿಸಿದ ಮೇಲೆ ಬೆಕರಲ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಸಂಶಯವು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿಗೆ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಶಕ್ತಿಯಿದೆಯೆಂದೂ, ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಯಾವ ವಿಧವಾದ ಭೌತ, ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದಾಗಲಿ ತಡೆಗಟ್ಟಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲವೆಂದೂ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಇದಕ್ಕೇ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ (natural) ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ ಎಂದು ಹೆಸರಾಯಿತು. 1898 ರಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಡಂ ಕ್ಯೂರಿ ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪಿಚ್ ಬ್ಲೆಂಡ್ (pitch blende) ಎಂಬ ಲೋಹದ ಅದುರುಗಳಿಂದ

ಯುರೇನಿಯಂಗಿಂತ ಸುಮಾರು 10 ಲಕ್ಷ ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನುಳ್ಳ ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದ ರೇಡಿಯಂ (radium) ಎಂಬ ವಸ್ತುವನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸಿದಳು. ಈಕೆಯು ಮಾಡಿದ ಈ ಪ್ರಯೋಗವು ಕುಶಲತೆಗೂ ಮತ್ತು ಅವಿಶ್ರಾಂತ ತಾಳ್ಮೆಗೂ ಸಾಕ್ಷಿಯಾಗಿ ರಾಸಾಯನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ರೇಡಿಯಂನಂತೆಯೇ ಥೋರಿಯಂ, ಆಕ್ಟಿನಿಯಂ ಮುಂತಾದ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುತ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು.

ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯ ಕಿರಣಗಳು ಮೂರು ಬಗೆಯಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು α, β ಮತ್ತು γ ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಸೂಚಿಸುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ. α – ಕಿರಣಗಳು ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಂಡ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು $_2He^4$ ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ತೂಕ 4 ಮಾನಗಳು ಮತ್ತು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ಮಾನ 2 ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. β – ಕಿರಣಗಳು ಅತಿವೇಗವಾಗಿ – ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುವಂತೆ – ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ; γ – ಕಿರಣಗಳು ಮಿಕ್ಕ ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿ ಅತ್ಯಂತ ಕಡಮೆ ಪ್ರಮಾಣದ ತರಂಗದೂರಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳು. α, β ಮತ್ತು γ ಕಿರಣಗಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಗಳು (penetrating powers) ಸುಮಾರು 1 : 100 : 10,000 ಆಗಿರುವುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗುವುದು.

ಈ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯು, ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತವಾಗಿಯೂ ಯಾವ ಬಾಹ್ಯಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದಲೂ ತಡೆಗಟ್ಟಲಾರದಂಥ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ವಯಂಸ್ಫೋಟಕ ಗುಣವು ಧಾತುವಿನ ಬೀಜಾಂಶ (nucleus) ಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟು, ವಸ್ತುವನ್ನೇ ಬೇರೆ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಬದಲಾವಣೆಯಾದರೆ, ಬೇರೆ ವಸ್ತುವಿನ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಬೇಕು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿಯೂ ಸಾಗುವುದರಿಂದ, ಇದೊಂದು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ವಿಧಾನವಾಗುತ್ತದೆ. ಮತ್ತೊಂದು ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸಂಗತಿಯೇನೆಂದರೆ, ಹೊಸ ಹೊಸದಾಗಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತ ಹೋಗುವ ವಸ್ತುಗಳೂ ಕೂಡ ಒಂದು ಪರಂಪರೆಯ (series) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅದೇ ರೀತಿಯ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಒಂದೊಂದು ಹೊಸ ವಸ್ತುವಿಗೂ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಜೀವಿತಕಾಲ (life) ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಜೀವಿತಕಾಲಗಳನ್ನು ಅಳೆಯಲು, ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲ (half-life period)

ವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲಗಳು ಕೆಲವು ಸೆಕಂಡುಗಳಿಂದ ಹಿಡಿದು ಹತ್ತಾರು ಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳವರೆಗೂ ಇರಬಹುದು.

ಈ ವಿಕಿರಣಶಕ್ತಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ನಿಯಮಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಕೂಲಂಕಷವಾಗಿ, ರದರ್‌ಫರ್ಡ್, ಸಾಡಿ, ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಪರಿಶೋಧಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಯುರೇನಿಯಂ, ಥೋರಿಯಂ, ಆಕ್ಟಿನಿಯಂಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ಶ್ರೇಣಿಗಳನ್ನು (series) ಗುರುತಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. α–ಕಿರಣವು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಹೊಸ ಧಾತುವಿನ ಪರಮಾಣು ತೂಕವು ಮೂಲವಸ್ತುವಿನದಕ್ಕಿಂತ 4 ಮಾನಗಳು ಕಡಮೆಯಾಗಿಯೂ, ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ 2 ಮಾನಗಳ ಇಳಿತವೂ ಆಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆಯೇ β–ಕಿರಣವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಆದ್ದರಿಂದ, ಉತ್ಪನ್ನ ಧಾತುವಿನ ಪರಮಾಣುತೂಕದಲ್ಲಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗದೆ, ಒಂದು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ನಾಶದಿಂದ, ಮೊತ್ತ ಧನ ಅಂಶವು 1 ಮಾನದಿಂದ ಹೆಚ್ಚಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ನಿರೂಪಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

$$(i)\quad {}_{92}U^{238} \xrightarrow[\alpha]{} {}_{90}UX_1^{234} \xrightarrow[\beta]{} {}_{91}UX_2^{234} \rightarrow \cdots\cdots\rightarrow {}_{88}Ra^{226} \xrightarrow[\alpha]{} {}_{86}Rn^{222}$$
$$\cdots\rightarrow {}_{82}RaG^{206}\ (\text{ಸ್ಥಿರಸೀಸ})\quad (Pb)$$

$$(ii)\quad {}_{90}Th^{232} \xrightarrow[\alpha]{} {}_{88}Ms\,Th^{228} \rightarrow\cdots \qquad \cdots\rightarrow {}_{82}ThD^{208}\ (\text{ಸ್ಥಿರಸೀಸ})$$

$$(iii)\quad {}_{92}AcU^{235} \xrightarrow[\alpha]{} {}_{90}UY^{231} \rightarrow\cdots \qquad \cdots\rightarrow {}_{82}AcD^{207}\ (\text{ಸ್ಥಿರಸೀಸ}) \qquad (1.1)$$

ಈ ಪರಂಪರೆಯಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ಅಂತಿಮ ಉತ್ಪನ್ನಗಳು (products) ಸ್ಫೋಟನ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರದೆ, ಸಾಮಾನ್ಯಸೀಸ (Pb)ದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾಗಿ (isotopes) ರುತ್ತವೆ. ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯು 82 ಆಗಿದ್ದು, ತೂಕಗಳು ಮಾತ್ರ 206, 207, 208 ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಜ್ಞಾನವು ಪರಮಾಣುವಿನ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳ ರಚನೆ, ಸ್ಥಿರತೆ ಮತ್ತು ಇತರ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ತಿಳಿಸುವ ನವೀನ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗವಾಗಿದೆ. ಔಪಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಕೂಡ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಜನಗಳು ಉಂಟಾಗಿವೆ. ಭೂಮಿಯ ಆಯುಸ್ಸು, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (radioactive isotopes) ಗಳ ಮೂಲಕ ಕೃಷಿ, ಕೈಗಾರಿಕೆ

ಮತ್ತು ವೈದ್ಯಶಾಸ್ತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಾಂತಿಕಾರಕ ಬದಲಾವಣೆಗಳು ಮುಂತಾದುವು ಈ ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಸೇರಿವೆ.

1.3 ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ ಮತ್ತು ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

ಯುರೇನಿಯಂ, ರೇಡಿಯಂ ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಸ್ವಯಂ ಕ್ಷೀಣತೆಯಿಂದ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳು ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಇವುಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಹಲವಾರು ಹಗುರ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಕೃತಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಸಾಧ್ಯತೆಯು 1919 ರಲ್ಲಿ ಮೊದಲು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಅದರಿಂದೀಚೆಗೆ ನೂರಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆದಿದ್ದು ಈಗಿನ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯು ಒಂದು ಮಾಮೂಲಾದ ವಿಧಾನದಂತೆ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಮಾನವನ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯು ತಾಂತ್ರಿಕ ಕೌಶಲ್ಯದಲ್ಲಿಯೂ, ವೀಕ್ಷಣಸೂಕ್ಷ್ಮತೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ವಿಚಾರಪರತೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಎಷ್ಟು ಉನ್ನತ ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಏರಬಹುದು ಎಂಬುದಕ್ಕೆ ನಿದರ್ಶನಗಳಾಗಿವೆ. ಕೀಳು ಲೋಹಗಳನ್ನು ಹೊನ್ನನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸುವ ಯಕ್ಷಣಿಯನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತಿದ್ದ ರಸವಾದಿಗಳ (alchemists) ಕುತಂತ್ರಗಳಿಂದ ಹಲವು ಶತಮಾನಗಳ ಕಾಲ ವಂಚಿತನಾಗಿ ದುರಾಸೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿದ್ದ ಮಾನವನಿಗೆ ಈ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಆಧುನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಿಂದ ಆ ಕನಸನ್ನು ನಿಜವಾಗಿಯೂ ಕಾಣುವ ಅವಕಾಶವುಂಟಾಗಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಆದರೆ, ಇದು ಅತಿ ಕಷ್ಟತವುವಾಗಿದ್ದು, ಹಣಕಾಸಿನ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಲಾಭಕರವಲ್ಲದ ವಿಧಾನವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುವುದರಿಂದ ಸಾಮಾನ್ಯ ಮನುಷ್ಯನಿಗೆ ಅದರ ಪ್ರಯೋಜನದ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಅಲ್ಪವಾಗಿದೆ. ಆದರೂ, ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಇದು ಈ ಶತಮಾನದ ದೊಡ್ಡ ಸಾಹಸಗಳಲ್ಲೊಂದಾಗಿದೆ.

ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕು ಅದನ್ನು ವಿಭಾಗಮಾಡುವುದೋ, ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡುವುದೋ ಪರಿಣಾಮವಾಗಬೇಕು. ಈ ಲಕ್ಷ್ಯದ ಗಾತ್ರದ ಪ್ರಮಾಣವು ಕೇವಲ 10^{-12} ಸೆಂ. ಮೀ. ಅನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದರಿಂದ ಇದು ಬಹಳ ಕಷ್ಟವಾದ ಕೆಲಸವೇ. ಇದನ್ನು ಒಳಹೊಗಬಹುದಾದ ಕ್ಷಿಪಣಿಯೂ (missile) ಕೂಡ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ್ದಾಗಿರಬೇಕು. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಅಭೇದ್ಯವಾದ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿಯ ಕೋಟೆ (high potential barrier) ಯಿರುವುದರಿಂದ ನಾವು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣವು ಅದನ್ನು ಭೇದಿಸಿ

ಒಳಗೆ ತಲಪುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಇಷ್ಟೆಲ್ಲ ಆಗಿ, ಸೂಕ್ತವಾದ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳೂ ಸಿಕ್ಕಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವಂತೆ ಆದರೂ ಕೂಡ, ಈ ಘರ್ಷಣದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿ, ಅಳೆದು ತೋರಿಸುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಸಾಧನಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಬೇಕು. ಈ ಮೂರು ವಿಧವಾದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳ ಪರಿಹಾರಕ್ಕೆ ಹಲವಾರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ದುಡಿದು ಸೂಕ್ತವಾದ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದ್ದಾರೆ.

ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗಿರುವ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳು ಹಲವು ಬಗೆಗಳಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳು, α–ಕಿರಣಗಳು, γ–ಕಿರಣಗಳು, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು, ಡ್ಯೂಟರಾನ್‌ಗಳು, ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳಾಗಿ ವರ್ತಿಸಬಹುದು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ಮಾದರಿಗಳಿಗಿಂತ ಅವು ಅತ್ಯಂತ ಫಲಕಾರಿಯಾದ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ಕೃತಕ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳಿಗೆ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೊಡಲು, ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಯಂತ್ರ (accelerator) ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಇವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್‌ಮಾನಗಳಲ್ಲಿ (MeV) 15 MeV ಇಂದ 750-800 MeV ಗಳವರೆಗೂ ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಈ ಯಂತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಲಾರೆನ್ಸ್ (Lawrence) ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ (cyclotron) ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಬಲ್ಲ ಸಿನ್‌ಕ್ರೋ–ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್ (synchro-cyclotrons and beta-trons) ಮುಂತಾದ ಯಂತ್ರಗಳು ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ.

ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸುವ ವಿಧಾನಗಳು ಹಲವಾರು ಇವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭಜನ ಮಂದಿರ (ionisation chamber), ಮೇಘ ಮಂದಿರ (cloud chamber), ಗೈಗರ್ ಗಣಕ (Geiger counter) ಮತ್ತು ಪಾವೆಲ್ (Powell) ನಿಂದ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ದ್ರವದ ವಿಧಾನ (photographic emulsion method) – ಇವುಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿಚಾರಮಾಡಲಾಗುವುದು.

ಈ ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನ ವಿಧಾನಗಳ ಅಂಗವಾಗಿ ಮತ್ತೊಂದು ಅತಿಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯವು ಹೊರಬಿದ್ದಿತು. ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಫಲದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಪರಮಾಣುವು ಅಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನಾಗಲಿ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನಾಗಲಿ ಹೊರಗೆಡಹುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಕಂಡು

ಹಿಡಿದ ಕೀರ್ತಿಯು ಮ್ಯಾಡಂ ಕ್ಯೂರಿಯ ಸಂತತಿಗೆ ಸೇರಿದ ಐರೀನ್ ಕ್ಯೂರಿ (Irene Curie) ಮತ್ತು ಫ್ರೆಡರಿಕ್ ಜೂಲಿಯೋ (Frederick Julio) ದಂಪತಿಗಳಿಗೆ ಸಲ್ಲುತ್ತದೆ. ಇವರು 1934 ರಲ್ಲಿ ನಡೆಸಿದ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಮೇಲೆ α-ಕಿರಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ರಂಜಕದ (radioactive phosphorus) ಪರಮಾಣುವಿನ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವುದನ್ನು ನಿದರ್ಶಿಸಿದರು. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಂಕೇತಗಳಿಂದ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1$$
$$\downarrow$$
$$_{14}Si^{30} + {}_1e^0 \quad \text{(ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್)} \qquad (1\text{-}2)$$

ಇಲ್ಲಿ $_{15}P^{30}$ ರಂಜಕದ ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ (ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನಂತೆಯೇ ಇರುವ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣ) ಹೊರಬಿದ್ದು ಸಿಲಿಕಾನ್ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ವಿಧಾನಗಳಿಂದ, ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ, ನೂರಾರು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ಕೃತಕ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು (radio-isotopes) ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ. ಪರಮಾಣು ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಧಾತುಗಳ ಮೇಲೆಯೂ ಕೃತಕ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳ ಪ್ರಯೋಗದ ಮೂಲಕ, ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಈ ನೂತನ ವಿಧಾನವು ಮಾನವನ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಬೀರಿದೆ.

1.4 ಪರಮಾಣು ಕೇಂದ್ರದ ಬೀಜಾಂಶವು ರೂಪಿತವಾಗಿರುವ ಕ್ರಮ – ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳು

ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ (Rutherford) ಮಾಡಿದ ಮೊದಲಿನ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವು ಸುಮಾರು 10^{-12} ಸೆಂ. ಮೀ. ತ್ರಿಜ್ಯದ ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿರಬೇಕೆಂಬ ಅಂಶವು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಆ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕವೂ ಅಡಗಿರಬೇಕೆಂದೂ ಭಾವಿಸಲಾಯಿತು. ಆದರೆ, ಆ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಇಡೀ ಧನವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಕಣವಿರಬೇಕೇ ಅಥವಾ ಹಲವು ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಇರಬಹುದೇ ಎಂಬ ವಿಷಯವನ್ನು ತಿಳಿಯಲಾಗಲಿಲ್ಲ. 1911 ರಲ್ಲಿ ಹೊರಬಿದ್ದ ಒಂದು ಪತ್ರದಲ್ಲಿ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ವಿಷಯವನ್ನು ಪ್ರಸ್ತಾಪಮಾಡಿ 2e ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವ α-ಕಣಗಳ ರಚನೆಯುಳ್ಳ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರಗಳು ಒಟ್ಟು

ಗೂಡಿರುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ವ್ಯಕ್ತಪಡಿಸಿದನು. 1815 ರಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರೌಟ್ (Prout) ಪ್ರಮೇಯದ ಪ್ರಕಾರ ಎಲ್ಲ ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುಗಳೂ (elements) ಜಲಜನಕ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿತ್ತು. 1886 ರಲ್ಲಿ ಕ್ರುಕ್ಸ್ (Crookes) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರೋಟೈಲ್ (protyle) ಎಂಬ ಮೂಲಭೂತ (primary) ವಸ್ತುವು ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇರಬೇಕೆಂದು ನಂಬಿದ್ದನು. ಆದರೆ ನಮ್ಮ ಪ್ರಸ್ತುತ ಗಣನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರಬೇಕಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಮೊದಲನೆಯದು ಪ್ರೋಟಾನ್ (proton). ಇದು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರ. ಇದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವು 1 ಧನವಿದ್ಯುನ್ಮಾನ (+e) ಮತ್ತು ತೂಕವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಿಂತ ಸುಮಾರು 1840 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಎರಡನೆಯ ಕಣವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (neutron). ಇದರ ತೂಕವು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ನಷ್ಟೇ (ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚು) ಇದ್ದು ಅದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುತ್ತದೆ (zero charge). ಆದರೆ, ಈ ನಿರ್ಧಾರಕ್ಕೆ ಬರಲು ಹಲವಾರು ವರ್ಷಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಬೇಕಾಯಿತು.

1902 ರಲ್ಲಿ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಸಾಡಿ (Soddy) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ (radioactivity) ಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ನಡೆಸಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಆ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು α, β, γ ಕಿರಣಗಳ ನಿಕ್ಷೇಪದಿಂದ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡುತ್ತವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಪರಂಪರೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕೆಲವು ಪದಾರ್ಥಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುತೂಕಗಳು ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿದ್ದರೂ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಮ್ಯತೆಯು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇವುಗಳನ್ನು ಯಾವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ ಬೇರ್ಪಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯತೆಯಿಲ್ಲದ್ದರಿಂದ ಅವುಗಳ ರಚನೆಯು ಹೊಸ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ತಂದೊಡ್ಡಿತು. ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ತೂಕವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ಅದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಬೇಕು. ಈ ಭಾವನೆಗೆ ವಿರುದ್ಧವಾದುದು ಸಾಡಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪರಿಣಾಮ. ಆದರೆ, ವಾನ್ ಡರ್ ಬ್ರಾಕ್ (Van der Broek) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಒಂದು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಅದರ ಪ್ರಕಾರ, ಕೇಂದ್ರದ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶ (nuclear charge) ಕ್ಕೂ ಆ ವಸ್ತುವು ಪುನರಾವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಹೊಂದಿರುವ ಸ್ಥಾನ (atomic number) ಕ್ಕೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದನು. ಈ ತತ್ತ್ವವು ಸಾಡಿಗೆ ಸಮಂಜಸವಾಗಿ ತೋರಿ, ಅವನು ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (isotopes) ಗಳೆಂದು ನಾಮಕರಣ ಮಾಡಿದನು. ಅಂದರೆ ಇವುಗಳ ಪರಮಾಣುತೂಕಗಳಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇ ಹೊರತು, ಪುನರಾವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಅವು ಒಂದೇ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸಿರುತ್ತವೆ. ಅಂದ ಮೇಲೆ, ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನ

ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳಿಗೆ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ ಬೇರೆ ಕಣಗಳಿಗೂ ಅವಕಾಶವಿದೆಯೆಂದು ಅರ್ಥವಾಯಿತು. ಆದರೆ ಸಾಡಿಯು ಮಾಡಿದ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ α – ಕಣಗಳು (ಅಥವಾ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರ) ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿರಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಯಿತು. ಇದು 1913 ರಲ್ಲಿ ಇದ್ದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಾಗಿತ್ತು.

1919 ರಲ್ಲಿ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿದ ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದ ಪ್ರಯೋಗದ ಪ್ರಕಾರ, ಅಂದಿದ್ದ ಮೂಲಭಾವನೆಗಳು ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದಬೇಕಾಯಿತು. ಅದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಪ್ರಪ್ರಥಮವಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ವಸ್ತುಗಳ ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಸಾಧಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಕೃತಿಯು ಕೆಲವು ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಸ್ವಯಂ ಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವನ್ನು ನಿದರ್ಶಿಸಿತು. ಆದರೆ, ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯುಳ್ಳ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೂ ಮಾನವನು ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ನಡೆಸುವ ಕೃತಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಬೇರೆ ವಸ್ತುಗಳನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಬಹುದು ಎಂಬ ವಿಷಯವು ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಆದುದರಿಂದ ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕೊಡಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯುತ α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸಾರಜನಕದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಮಾಡಿದ ಫಲವಾಗಿ, ಆಮ್ಲಜನಕವು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವುದರ ಜೊತೆಗೆ ಜಲಜನಕದ ಕೇಂದ್ರಕಣ (hydrogen nuclei) ಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು.

$$\text{ಸಾರಜನಕ} + \alpha\text{-ಕಿರಣಗಳು} \rightarrow \text{ಆಮ್ಲಜನಕ} + \text{ಪ್ರೋಟಾನ್}$$

$$_7N^{14} + {_2He^4} \rightarrow {_8O^{17}} + {_1H^1} \tag{1.3}$$

ಇದು ಸಾಮಾನ್ಯ ರಾಸಾಯನಿಕ ಸಮೀಕರಣವಾಗಿರದೆ, ನವೀನ ರಸಾಯನಶಾಸ್ತ್ರದ (new chemistry) ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಥಮ ನಿದರ್ಶನ. ಇದರಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ α–ಕಿರಣಗಳು (ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರಗಳು) ನೇರವಾಗಿ ಸಾರಜನಕ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಿಸಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸಿ, ಆಮ್ಲಜನಕದ ಕೇಂದ್ರಗಳನ್ನೂ ಜಲಜನಕದ ಕೇಂದ್ರಗಳನ್ನೂ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ತೋರಿಸಲು ಸಮೀಕರಣದ ಸಂಕೇತಗಳ ಅರ್ಥವು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ:

$_7N^{14}$–ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುಕೇಂದ್ರ–ಇದರ ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ 14,
ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ 7

$_2He^4$–ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುಕೇಂದ್ರ–ಇದರ ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ 4,
ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ 2 (α–ಕಿರಣ)

$_8O^{17}$–ಆಮ್ಲಜನಕ ಪರಮಾಣು (ಸಮಸ್ಥಾನಿ) – ಇದರ ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ 17,
ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ 8

$_1H^1$–ಜಲಜನಕ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರ–ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ 1,
ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ 1 (ಪ್ರೋಟಾನ್)

ಈ ಸಂಕೇತಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ನಿಯಮವು ಕಾಣುತ್ತದೆ. ಎಡಗಡೆಯಿರುವ ಕಣಗಳ ತೂಕಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ $=14+4=18$, ಬಲಗಡೆ ಸಂಖ್ಯೆ $17+1=18$ ಹಾಗೂ, ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ (atomic number) ಗಳ ಒಟ್ಟು ಮೊತ್ತವೂ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಸಮನಾಗಿರುತ್ತದೆ. $(7+2) = 9 = (8+1)$

ಇದು ಪರಮಾಣುಕೇಂದ್ರಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಎಲ್ಲ ಪರಿವರ್ತನ ವಿಧಾನಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿರಬೇಕೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಇದು 1920 ರಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವಿಸಿದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ. ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇರಬೇಕೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ತೂಕ (ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ A ಆದರೆ, Z= ಪರಮಾಣುವಿನ ಸಂಖ್ಯೆಯಾದರೆ, (A—Z) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುತ್ತವೆಂಬ ಭಾವನೆಯು ಬಹಳಕಾಲ ಉಳಿಯಲಿಲ್ಲ. 1925 ರಲ್ಲಿ ಗೌಡ್‌ಸ್ಮಿತ್ (Goudsmit) ಮತ್ತು ಊಹ್‌ಲೆನ್‌ಬೆಕ್ (Uhlenbeck) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಭ್ರಮಣ (spin) ವಿದೆಯೆಂದೂ ಅದರ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (spin quantum number) $\frac{1}{2}$ ಇರಬೇಕೆಂದೂ ನಂಬಬೇಕಾಯಿತು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಸಾರಜನಕ ($_7N^{14}$) ಪರಮಾಣುಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ 14 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, 7 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇವೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, $\frac{1}{2}$ ಭ್ರಮಣ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ 21 ಕಣಗಳ ಮೊತ್ತ ಭ್ರಮಣವು $\frac{1}{2}$ ಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲ. ಹಾಗೂ ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ಭ್ರಮಣವು ಶೂನ್ಯ (zero spin) ವಾಗಿರುವ ಪ್ರಮೇಯವಂತೂ ಇಲ್ಲವೇ ಇಲ್ಲ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ, ಹಲವು ಹಗುರ ಪರಮಾಣುಗಳ ಕೇಂದ್ರಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರಬೇಕೆಂಬ ವಾದವನ್ನೇ ಕೈಬಿಡಬೇಕಾಗಿ

ಬಂತು. ಅತ್ಯಲ್ಪ ಗಾತ್ರದ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವುದೂ ಕಷ್ಟವಾಗಿ ತೋರಿತು.

ಅತಿ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಈ ಎಲ್ಲ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೂ ಸಮಂಜಸವಾದ ಪರಿಹಾರವು 1932 ರಲ್ಲಿ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ (Chadwick) ಎಂಬ ಬ್ರಿಟಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಸಾಧಿಸಿದ ಒಂದು ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ದೊರೆಯಿತು. ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇದೊಂದು ಮಹತ್ತ್ವಪೂರಿತವಾದ ಸಂಶೋಧನೆ. ಇದರ ಫಲದಿಂದ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (neutron) ಎಂಬ ಹೊಸ ನಿರ್ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣವು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು, ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖಸ್ಥಾನವು ಕಲ್ಪಿತವಾಯಿತು. ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಬೆರಿಲಿಯಂ ಕೇಂದ್ರದ ಮೇಲೆ α – ಕಿರಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಇಂಗಾಲ ಕೇಂದ್ರವು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬಿದ್ದಿತು. ಈ ಕಣದ ತೂಕವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ತೂಕಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾಗಿದ್ದು, ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ಸಂಕೇತವು ${}_0n^1$ ಆಗಿರಬೇಕು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಮೀಕರಣವು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ.

$${}_4Be^9 + {}_2He^4 \rightarrow {}_6C^{13} + {}_0n^1 \qquad (1.4)$$

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವ ನಿಯಮದ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನೂ ಇದು ನಿದರ್ಶಿಸುತ್ತದೆ.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಅದರ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟನಂತರ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಮರ್ಪಕವಾದ ಘಟ್ಟವನ್ನು ತಲಪಿದಂತಾಯಿತು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಎರಡೇ ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸ್ಥಾನವಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳೇ ಪ್ರೋಟಾನ್ (p) ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (n) ಗಳು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಬೀಜಕಣ (nucleons) ಗಳೆಂದೂ ಹೆಸರಿಡಲಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ಈಚಿನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೀಯವಾಗಬಹುದಾದ ಕಣಗಳು. ಈ ವಿಷಯವನ್ನು ಮುಂದೆ ವಿಚಾರ ಮಾಡಲಾಗುವುದು.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು, ನಿರ್ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರಲು ಅವಕಾಶವಿದೆಯೆಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಮೇಲೆ ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಪರಮಾಣುತೂಕಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಪಡೆದಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯವು ಸುಲಭವಾಗಿ ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರದೆ ಭಿನ್ನಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರಲು ಕಾರಣವೂ ಕೂಡ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಉದಾ

ಹರಣೆಗಾಗಿ ನಿಯಾನ್ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರ ಪರಮಾಣು ತೂಕ=20.2. ಇದರಲ್ಲಿ 20 ಮತ್ತು 22 ತೂಕಗಳ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು 9:1 ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳ ಮೊತ್ತ ತೂಕವೂ 20.2 ಆಗಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಸಂಕೇತಗಳನ್ನು $_{10}Ne^{20}$ ಮತ್ತು $_{10}Ne^{22}$ ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ, ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ತಿಳಿಯಬಹುದು. $_{10}Ne^{20}$ ರಲ್ಲಿ 10 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, 10 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇದ್ದು ಮೊತ್ತ ತೂಕ 20, ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಖ್ಯೆ 10 ಆಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆಯೇ $_{10}Ne^{22}$ ರಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 10 ಆಗಿದ್ದು, 12 ನೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ತೂಕ ಮಾತ್ರ 22 ಕ್ಕೆ ಏರಿತೇ ಹೊರತು ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಖ್ಯೆ 10 ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಎರಡು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಹೊರಗಣ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 10 ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ಭೇದವೂ ಇರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲ. ಜಲಜನಕದಲ್ಲಿಯೂ ಕೂಡ ಮೂರು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಿರುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ತೂಕಗಳು 1, 2, 3 ಮತ್ತು ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ = 1.

$_{1}H^{1}$ – 1 ಪ್ರೋಟಾನ್

$_{1}H^{2}$ – ಡ್ಯೂಟರಾನ್ = 1 ಪ್ರೋಟಾನ್ +1 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್

$_{1}H^{3}$ – ಟ್ರೈಟಾನ್ = 1 ಪ್ರೋಟಾನ್ +2 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್.

ಇದನ್ನೇ ಒಂದು ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ನಿಯಮವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಿದರೆ,

ಪರಮಾಣುಕೇಂದ್ರದ ತೂಕವು (ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ) A ಆಗಿಯೂ, ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯು Z ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ Z ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ (A – Z) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇರಬೇಕೆಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ.

ಪುನರಾವರ್ತನ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕದಿಂದ (Z=1) ಹಿಡಿದು ಯುರೇನಿಯಂ (Z=92) ವರೆಗೆ ಇರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ ಮತ್ತು ತೂಕಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳು ಹೇಗೆ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತವೆಂದು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತವೆ. Z=20 ಅಂದರೆ ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ ($_{20}Ca^{40}$) ವರೆಗೆ, A=2Z ಆಗಿರುವಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಪರಮಾಣುಗಳ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಸಮನಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲಿಂದಾಚೆಗೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಮೀರುತ್ತ ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಯುರೇನಿಯಂ (Z=92) ನಲ್ಲಿ 92 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ 146 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇದ್ದು ತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆ 238 ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

ಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ, ಥೋರಿಯಂ, ರೇಡಿಯಂ ಮುಂತಾದ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರದ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ವಿಪರೀತವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಅಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯು ಏರ್ಪಟ್ಟು ಕಿರಣಗಳ ಕ್ಷೇಪಣಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆಂದು ಊಹಿಸಬಹುದು. ಇದು ಅತಿಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ವಿಚಾರಮಾಡ ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

1.5 ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಬಂಧಕ ಬಲಗಳು

ಈಗ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು, ನಿರ್ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರುವುದೆಂದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟ ಹಾಗಾಯಿತು. ಇವುಗಳು ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿರುವ ಅವಕಾಶದ ಗಾತ್ರವು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ. ವ್ಯಾಸದಿಂದ ಇರಬೇಕಾದರೆ, ಇಷ್ಟು ಕಣಗಳನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಸುಭದ್ರತೆಯು ಏರ್ಪಡಲು, ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಇರಬಹುದಾದ ಬಲಗಳ ಸ್ವರೂಪವಾದರೂ ಹೇಗಿರಬೇಕು ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಯನ್ನು ಎದುರಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ. ಕಣಗಳನ್ನು ಜಡಾಂಶದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾತ್ರ ಗಣನೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ಇವುಗಳ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶಗಳಂತೆ ಪರಿಗಣಿಸಿದರೆ, ಕೂಲೋಂಬ್ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಪಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳ (electro-static forces of repulsion) ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ F_1 ಮತ್ತು F_2 ಎಂದು ಕರೆದರೆ

$$\frac{F_1}{F_2} = 10^{-36} \quad \text{ಆಗುತ್ತದೆ.} \tag{1.5}$$

ಅಂದರೆ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಬಲ (F_1)ವು ಅತ್ಯಂತ ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿದ್ದು ಅದನ್ನು ಗಮನಾರ್ಹವಲ್ಲವೆಂದೇ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಇನ್ನು ಪ್ರೋಟಾನ್–ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್–ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ನಡುವಣ ಪರಸ್ಪರ ಬಲಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಒಂದು ವಿಷಯವೇನೋ ಖಚಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಬಲಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ಬಲಗಳಾಗಿರಬೇಕು. ಮತ್ತು ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಅಪಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳಿಗಿಂತ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರಬೇಕು. ಈ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದ ಪ್ರಕಾರ ಬಂಧಕ ಬಲಗಳ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಹಲವಾರು ದಶಲಕ್ಷ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ (MeV) ಮಾನದಲ್ಲಿರಬೇಕು.

ಈ ಬಂಧಕ ಬಲಗಳ (binding energies) ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಇಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಮತ್ತೊಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಊಹಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ (Einstein) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಜಡಾಂಶ ಶಕ್ತಿಗಳ ಮಾನತ್ವದ ತತ್ತ್ವವು (mass–energy equivalence principle) ಅಡಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ನಿರೂಪಣೆಯನ್ನು ತೋರಿಸುವ ಮುಖ್ಯ ಸಮೀಕರಣವು

$$E = Mc^2 \qquad (1.6)$$

ಇಲ್ಲಿ M ಎಂಬುದು ವಸ್ತುವಿನ ಜಡಾಂಶದ (mass) ಪ್ರಮಾಣ. $c =$ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ. ಈ ಜಡಾಂಶದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯಾದರೂ ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ನಿರ್ಮೂಲನ ಮಾಡಿ, ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ದೊರೆಯುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು E ಆಗುತ್ತದೆ.

$M = 1$ ಗ್ರಾಂ ಆದರೆ, $c = 3 \times 10^{10}$ ಸೆಂ. ಮೀ./ಸೆಕಂಡ್ ಆದರೆ,
$E = 9 \times 10^{20}$ ಎರ್ಗ್‌ಗಳಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದನ್ನು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಬಹುದು.

ಜಲಜನಕದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಾದ ಡ್ಯೂಟೀರಿಯಂ ($_1H^2$) ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ 1 ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು 1 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಇವೆ.

1 ಪ್ರೋಟಾನ್ ಜಡಾಂಶ $= 1.6724 \times 10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ
1 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಜಡಾಂಶ $= 1.6747 \times 10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ

---

1 ಪ್ರೋಟಾನ್ + 1 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ $= 3.3471 \times 10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ m_1
ಆದರೆ 1 ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಜಡಾಂಶ $= 3.3432 \times 10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ m_2

$(m_1 - m_2) =$ ಜಡಾಂಶದ ಕೊರತೆ (mass defect) $= 0.0039 \times 10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ

ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ಇದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಶಕ್ತಿ $E = (m_1 - m_2)\, c^2$
$= 2.225$ (ಸುಮಾರು) MeV ಆಗುತ್ತದೆ.

ಅಂದರೆ, ಈ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒದಗಿಸಿದರೆ ಮಾತ್ರ ಅದರಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಆ ಬೀಜಾಂಶದ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಗಿ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ತೃಪ್ತಿಕರವಾಗಿ ಸಮರ್ಥಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಜಡಾಂಶ – ಶಕ್ತಿಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೀಯತ್ವದ ತತ್ತ್ವವೇ ಎಲ್ಲ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಅಡಗಿದೆಯೆಂದು ಈಗ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

ಇಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾದ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳು ನಮ್ಮ ಸಾಮಾನ್ಯ ಅನುಭವದಲ್ಲಿ ಇರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವ ಬೀಜಾಂಶದ ಆಕೃತಿಯೂ ಯಾವ ನಮೂನೆಯಲ್ಲಿರಬಹುದೆಂದು ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಬೀಜಾಂಶದ ಗಾತ್ರದ ವ್ಯಾಸವನ್ನು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ. ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಈ ಅಲ್ಪ ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ ಅಗಾಧ ಆಕರ್ಷಕ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಹಲವಾರು ಬೀಜಕಣಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಇದನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿಯ ಕೂಪದಂತೆಯೂ, ಅದರ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ನಿರೋಧಕ ಗೋಡೆಗಳಿರುವಂತೆಯೂ (potential energy well with walls 10^{-12} cm apart) ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹೊರಗಡೆಯಿಂದ ಬರುವ ಯಾವ ಕಣವೇ ಆಗಲಿ, ಬೀಜಾಂಶದ ಒಳಗೆ ತಲಪಬೇಕಾದರೆ, ಹೊರಗಿನ ಗೋಡೆಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸಿ ಕಂದಕವನ್ನು ದಾಟುವಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು.

1.6 ಪರಮಾಣು ವಿದಲನ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಸಂಯೋಜನೆ

1938 ಡಿಸೆಂಬರ್‌ನಲ್ಲಿ ಹಾನ್ (Hahn) ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್ (Strassman) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ವೀಕ್ಷಣೆಯನ್ನು ಕಂಡರು. ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆಮಾಡಿಸಿದ್ದರ ಫಲವಾಗಿ, ಬೇರಿಯಂಗೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾದುದನ್ನು ಕಂಡರು. ಇಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶದ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ 92 ಮತ್ತು ಅದರಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಬೇರಿಯಂನ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯು 56. ಇದರ ಕಾರಣವು ಲೀಸ್ ಮೀಟ್ನರ್ (Lise Meitner) ಪ್ರಕಾರ, ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವು ಎರಡು ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮಾನತೂಕದ ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ಬಿರಿಯುವುದು (fission). ಇಷ್ಟರಲ್ಲಿಯೇ ಫರ್ಮಿ (Fermi) ಎಂಬ ಇಟಾಲಿಯನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕೂಡ ಈ ಪರಮಾಣು ವಿದಲನದ ಮರ್ಮವನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಉದ್ಯುಕ್ತನಾದನು. ಇವರುಗಳ ಪರಿಶ್ರಮದಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ರೂಪವನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ನಿದರ್ಶಿಸಲಾಯಿತು.

$$n \rightarrow p + e + \nu$$

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ → ಪ್ರೋಟಾನ್ + ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ + ಆಂಟಿನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ

ಇಲ್ಲಿ ν ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ "ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ" ಎಂಬ ಹೊಸ ಕಣವು ಬಹಳ ವಿಚಿತ್ರವಾದುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಜಡಾಂಶವಿಲ್ಲ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವಿಲ್ಲ, ಆದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್,

$$_0n^1 + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{92}U^{236} \rightarrow {}_{56}Ba^{146} + {}_{36}Kr^{90}$$

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ + ಯುರೇನಿಯಂ → ಬೇರಿಯಂ + ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್

$$_{56}Ba^{146} \rightarrow {}_{56}Ba^{145} + {}_0n^1$$

$$_{56}Ba^{145} \rightarrow {}_{56}Ba^{144} + {}_0n^1$$

$$_{36}Kr^{90} \rightarrow {}_{36}Kr^{89} + {}_0n^1 \qquad (1.7)$$

ಈ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿದಲನದಿಂದ ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್‌ಗಳು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲ್ಪಡುವುದಲ್ಲದೆ, ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, ಮತ್ತು 200 MeV ಶಕ್ತಿಯೂ ಹೊರಗೆಡಹಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಇಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರಬೀಳುವುದರಿಂದಲೇ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬುಗಳು (atomic bombs) ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿ, ಎರಡನೆಯ ಮಹಾಯುದ್ಧದ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೇ ಬದಲಾಯಿಸಿತು. ದೊಡ್ಡ ಪಟ್ಟಣಗಳ ನಿರ್ಮೂಲನವೂ ಮತ್ತು ಇತರ ಹಲವಾರು ವಿನಾಶಕಾರಕ ಪರಿಣಾಮಗಳೂ ಉಂಟಾಗಿ ಇಂದಿಗೂ ಜನಸಾಮಾನ್ಯರಿಗೆ ಭಯ ಭ್ರಾಂತಿಗಳು ಉಳಿಯುವಂತೆ ಮಾಡಿವೆ.

ಪರಮಾಣು ವಿದಲನದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಶಾಂತಿಯುತ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿನಿಯೋಗಿಸಿ ಮಾನವನ ಕಲ್ಯಾಣಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ನೂರಾರು ವಿಧಾನಗಳು ಈಗ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸಾಧ್ಯ ಮಾಡುವಂತೆ ಪರಮಾಣು ಪ್ರಕ್ರಿಯಾಕಾರಕ ಯಂತ್ರಗಳು (atomic reactors) ತಯಾರಾಗುತ್ತಿವೆ. ಇವುಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪಾದನೆ, ಕೈಗಾರಿಕೆ ಮತ್ತು ವೈದ್ಯ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಬಹುವಿಧ ಪ್ರಯೋಜನಗಳೂ ಅಡಗಿವೆ.

ಯುರೇನಿಯಂ ವಿದಲನದ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣುವು ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಹೋಳುಗಳಾಗಿ ಬಿರಿದು ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾದರೆ, ಅತಿ ಹಗುರ ವಸ್ತುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸಂಯೋಗ (nuclear fusion) ದಿಂದಲೂ, ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಡ್ಯುಟರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಸಂಯೋಗವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವು ಲಭಿಸುವಂತಾದರೆ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಈ ಸಂಯೋಜನೆಯು ಸಫಲವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಅವುಗಳ ಆವರಣದ ತಾಪದ ಮಟ್ಟವು ಸುಮಾರು ಎರಡು ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳಷ್ಟು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ತಾಪವನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಿ, ಅದನ್ನು ಒಂದು ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿಸಬೇಕಾದರೆ,

ವಿಶೇಷ ಸಾಧನಗಳು ಬೇಕಾಗುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಸುಲಭವಾದ ಮಾರ್ಗವೇನೆಂದರೆ, ಸಂಯೋಜನೆಗೆ ಬೇಕಾದ ತಾಪವು ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿದಲನದ ವಿಧಾನದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವುದರಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇದೆ. ಈ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ತಯಾರಿಸಿದ ಸಂಯೋಜನ ಬಾಂಬುಗಳು (fusion bombs or H-bombs) ವಿದಲನ ಬಾಂಬುಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ವಿನಾಶಕಾರಿಗಳಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನೂ ಕೂಡ ಯೋಗ್ಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಒಳ್ಳೆಯ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ.

1.7 ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳು : ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳು

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರವೆಂದು ನಿರ್ಧಾರವಾದಮೇಲೆ, ಅವುಗಳು ಪರಸ್ಪರ ಹೊಂದಿರಬೇಕಾದ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ವಿಚಾರ ಮಾಡಬೇಕು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ, ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಮನ್ವಯ ಮಾಡಬೇಕು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ತೂಕ, ಕೋನಮಾಪಿತ ಆವೇಗ, ಭ್ರಮಣ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಬೇಕು. ಇವುಗಳನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಬಲಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು. ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಪರಿವರ್ತನೆ, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ, ಪರಮಾಣು ವಿದಲನ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಸಂಯೋಜನೆ ಮುಂತಾದ ಮುಖ್ಯ ಸಂಭವಗಳಿಗೆ ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡುವ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ರೂಪಿಸಬೇಕು. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಮೇಲಾಗಿ, ನವೀನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೂ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡಬೇಕು. ಈ ಎಲ್ಲ ದೃಷ್ಟಿಗಳಿಂದ, ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯು ಅತಿ ಕ್ಲಿಷ್ಟ ಸಮಸ್ಯೆಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದೆ.

ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕವನ್ನೇ ಮೊದಲು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ತೂಕಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ ಸಾಧಾರಣವಾಗಿ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರದೆ, ಭಿನ್ನಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿವೆಯೆಂಬುದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕವೆಂದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕಕ್ಕೆ ಅದರ ಹೊರಗಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ತೂಕಗಳನ್ನೂ ಸೇರಿಸಬೇಕು. ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ನೋಡಿದಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ವಿವಿಧ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಇದ್ದೇ ಇವೆ.

ಒಂದು ಬೀಜಾಂಶ (nucleus) ದ ತೂಕವನ್ನು M ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಇದು ಪೂರ್ಣಾಂಕ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಅತಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ ಆ ಪೂರ್ಣಾಂಕ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ (A) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಈ ಸಂಖ್ಯೆಯು

ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಕಣಗಳ ಮೊತ್ತಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, A ಎಂಬುದು ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ (mass number) ಆದರೆ, Z ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, (A–Z) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಆ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುತ್ತವೆಂದು ಅರ್ಥ ಬರುತ್ತದೆ.

ಬೀಜಾಂಶದ ಒಟ್ಟು ತೂಕ M ಗೂ, ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ A ಗೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಜಡಾಂಶ ಕೊರತೆ (mass defect) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದನ್ನು Δ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ $\Delta = (M-A)$. ಅತಿ ಹಗುರ ಮತ್ತು ಅತಿ ಭಾರವಾದ ಧಾತುಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಗೂ, ಈ ಕೊರತೆಯು ಋಣ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವು ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಆಂತರ್ಯ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ (binding energy) ಯ ಸಂಕೇತ ವಾಗಿದ್ದು, ವಸ್ತುಗಳ ಭದ್ರತೆ (stability) ಅಥವಾ ಅಭದ್ರತೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿ ಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ (Ne) ನಿಯಾನ್ (A=20) ನಿಂದ ಹಿಡಿದು (Sn) ತವರ (A=110) ದ ವರೆಗೆ, Δ ದ ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲಿಂದ (Hg) ಪಾದರಸ (A=200) ದ ವರೆಗೆ ಇಳಿಯುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಈ ಜಡಾಂಶ ಕೊರತೆಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಸುಮಾರಾಗಿ ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುತ್ತವೆಂದು ಊಹಿಸಬಹುದು. ಈ ವಿಚಾರವನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗುವುದು.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಗಾತ್ರವು ಸುಮಾರು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಾದ ತ್ರಿಜ್ಯದಷ್ಟು ಅಲ್ಪಪ್ರಮಾಣವಿದೆಯೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಈ ಸಣ್ಣ ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ವಿವಿಧ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟು ಗೂಡಿರುತ್ತವೆ. ಹೀಗಿರುವಾಗ, ಧನವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವಣ ವಿಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಇರುವುವೆಂದು ಊಹಿಸಿದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ನಡುವೆ ಇರಬೇಕಾದ ಬಲಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾ ಗಿಯೂ ಆಕರ್ಷಕ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೂ ಇರಬೇಕೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೊಂದು ಹೊಸ ರೀತಿಯ ವಿನಿಮಯ ರೂಪದ ಬಲ (exchange force) ವೆಂದು ನಂಬಲಾಗಿದೆ. ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ವಿವಿಧ ಬಲಗಳ ಸ್ವರೂಪಗಳನ್ನು ಐದು ಮಾದರಿಗಳನ್ನಾಗಿ ಭಾವಿಸಬಹುದು : (1) ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ (gravitational) (2) ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ (electromagnetic) (3) ಪ್ರಬಲ (strong) (4) ಮಧ್ಯಸ್ಥ (medium-strong) ಮತ್ತು (5) ದುರ್ಬಲ–ಬೀಜಾಂಶಾತ್ಮಕ (weak–nuclear). ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮೊದಲನೆಯ ಎರಡು ಬಗೆಗಳು ಹೆಚ್ಚು ದೂರಾಂತರ (long-range) ಗಳಲ್ಲಿ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತವೆ. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಘನತೂಕದ ದ್ರವ್ಯಗಳ ನಡುವೆಯೂ, ಮುಖ್ಯವಾಗಿ, ಸೌರವ್ಯೂಹ ಮುಂತಾದ ಸಮೂಹಗಳಲ್ಲಿಯೂ ವಿಶೇಷತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಪರಮಾಣು

ವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಬಂಧಿಸುವ ಮತ್ತು ಅಣುವಿನ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗಳು ಪ್ರಧಾನವಾಗಿರುವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಲಗಳು ಪ್ರಧಾನವಾಗುತ್ತವೆ. ಪ್ರಬಲ ಮತ್ತು ಮಧ್ಯಸ್ಥ ಬಲಗಳು ಅಲ್ಪಾಂತರ (short range) ಗಳಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ, 10^{-13} ಸೆಂ.ಮೀ. ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಅವಧಿಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದಲೇ, ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ, ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಘರ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಮೀಸಾನ್ (π-mesons) ಮತ್ತು ಇತರ ವಿಚಿತ್ರಕಣಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿಗಳೂ ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತವೆ. ದುರ್ಬಲ ಸ್ವರೂಪದ ಬಲಗಳಿಂದ ಅಲ್ಪಾಂತರಗಳಲ್ಲಿ ತುಂಡು ಬೀಜಕಣಗಳ (sub-nuclear particles) ಕ್ಷಯ (decay) ವು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ರಚನೆಯು ಎಷ್ಟು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಉದ್ಭವವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆಂಬುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ α–, β–ಮತ್ತು γ-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿ ಅವುಗಳ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಅಷ್ಟು ಸುಲಭವಾದ ಕೆಲಸವಲ್ಲ. ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರವಿದ್ದರೆ, ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಹೊಂದಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಂತಿರುವ β–ಕಿರಣಗಳು ಹೇಗೆ ಹೊರಬರಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂಬುದು ಅರ್ಥವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಹಾಗೆಯೇ, α–ಕಣಗಳು 4 ಪರಮಾಣುತೂಕವನ್ನೂ 2 ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂದು ಹೇಳಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ. γ–ಕಿರಣಗಳು x–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದೂ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಯಾವ ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ ಇಲ್ಲದಿರುವುದೂ ಒಂದು ತೊಡಕಿನ ಸಮಸ್ಯೆಯಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಸಮರ್ಪಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಮನ್ವಯ ಮಾಡಲು ಹಲವಾರು ಕಲ್ಪನೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅವುಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ತೋರಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಕ್ವಾಂಟಂ ಮತ್ತು ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರವೇ ಅಲ್ಲದೆ ಹೊಸ ರೀತಿಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನೂ ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಸ್ವರೂಪಭೇದವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತಿರುವುದನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ತೂಕವು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು ಅದು ಕ್ಷಯಿಸಿದರೆ ಉಂಟಾಗುವ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ:

$$n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \nu$$

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ → ಪ್ರೋಟಾನ್ + ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ + ಆಂಟಿನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ

ಇಲ್ಲಿ ν ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ 'ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ' ಎಂಬ ಹೊಸ ಕಣವು ಬಹಳ

ವಿಚಿತ್ರವಾದುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಜಡಾಂಶವಿಲ್ಲ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವಿಲ್ಲ; ಆದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಂತೆ ಭ್ರಮಣ (spin) ವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲು ಪೌಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕೇವಲ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಇದರ ಆವಶ್ಯಕತೆಯನ್ನು ಮನಗಂಡನು. ಇತ್ತೀಚಿಗೆ ಇದರ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಪ್ರಯೋಗ ಗಳಿಂದ ಸಮರ್ಥನೆ ಹೊಂದಿದೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಶಿಥಿಲತೆ (decay) ಯಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು β–ಕಿರಣದಂತೆ ಹೊರಬೀಳಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಬಂಧಿತವಾಗಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕೂಡ ಶಿಥಿಲ ಹೊಂದಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯೂ ಇದೆ.

$$\overset{+}{p} \rightarrow n + \overset{+}{e} + \nu$$

ಪ್ರೋಟಾನ್ → ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ + ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ (e+) + ನ್ಯೂಟ್ರಿನೊ. ಅಂದ ಮೇಲೆ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಮತ್ತು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳೆಂಬ ಹೊಸ ಕಣಗಳನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಮಾಡಬೇಕಾಗಿ ಬಂದಿದೆ. ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 92 ಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾದರೆ, ಶಕ್ತಿಯ ಲಕ್ಷಣಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಶಿಥಿಲ ವಾಗಿ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿದು ಬಂದಿದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ, ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯು 92 ಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ ಅತೀತ (trans-uranic) ಧಾತು ಗಳು ಅಭದ್ರ (unstable) ವಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಹಲವಾರು ಹೊಸ ಕಣಗಳೂ, ವಿಚಿತ್ರ ಕಣಗಳೂ (sub-nuclear and strange) ಕಂಡು ಬಂದಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮೀಸಾನ್ (mesons) ಗಳು ಮುಖ್ಯವಾದುವು 1934 ರಲ್ಲಿ ಯೂಕಾವ (Yukawa) ಎಂಬ ಜಪಾನ್ ದೇಶದ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅಲ್ಪಾಂತರ ಬಲಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸುತ್ತಿರುವಾಗ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಿಂತ ಸುಮಾರು 300 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾ ಗಿರುವ ತೂಕವಿರುವ ಕಣದ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿರುವುದಾಗಿ ತಾತ್ತ್ವಿಕವಾಗಿ ಸಾಧಿಸಿ ತೋರಿಸಿದನು. ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ವಿಧಾನ ದಲ್ಲಿ ಈ ರೀತಿಯ ಒಂದು ಕಣದ ಉತ್ಪನ್ನವು ಸಂಭವನೀಯವೆಂದು ನಂಬಿ ದನು. ಇದಾದ ಮೇಲೆ, ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅರಿಯುವ ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ವಾಯುಮಂಡಲದ (atmosphere) ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳು ಬೀಜಾಂಶಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಿಸುವಾಗ, ಇದೇ ರೀತಿಯ ಕಣಗಳು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಇಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ

ಕಿರಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಾಗಿದ್ದು, ಸಂಘರ್ಷಣೆಗಳ ದೆಸೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳ ತೂಕವು ಸುಮಾರು (270±30) m_e [m_e=1 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತೂಕ] ವೆಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳಿಗೆ π–ಮೀಸಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಹೆಸರಾಗಿದೆ. ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಕೆಲವು ಉಪಕರಣಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಮೀಸಾನ್‌ಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿದೆ. ಈ π– ಮೀಸಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಮೂರು ಬಗೆಗಳಿವೆ: ಅವುಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿದ್ದರೆ π° ಎಂದೂ, +1, –1 ವಿದ್ಯುದಂಶವಿದ್ದರೆ, π^{+}, π^{-} ಎಂದೂ ಸಂಕೇತಗಳಿವೆ.

1930 ರಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಿದ್ದಂತೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳಾಗಿದ್ದುವು. 1962 ರ ವೇಳೆಗೆ, ಮೂವತ್ತಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾದ ತುಂಡು ಬೀಜಾಂಶ (sub-nuclear) ಕಣಗಳು ಗೊತ್ತಾದುವು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಬೀಜಾಂಶ ಕಣ (nucleons) ಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ತೂಕದ ಹೈಪರಾನ್ (hyperons) ಗಳೂ, π–ಮೀಸಾನ್‌ಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ತೂಕದ ಇತರ ಮೀಸಾನ್‌ಗಳೂ ಇವೆ. ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ಕಣಗಳನ್ನೂ ಸೇರಿಸಿದರೆ, ಇಂಥ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 100 ಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಕಣಗಳನ್ನು ತೂಕದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ವಿಂಗಡಿಸಿದರೆ, ನಾಲ್ಕು ಮುಖ್ಯ ಮಾದರಿಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಕೆಲವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

			(m_e)ಮಾನ		(e)ಮಾನ
1. ಲೆಪ್ಟಾನ್‌ಗಳು :–					
ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ	ν_e	ತೂಕ–	0	ವಿದ್ಯುದಂಶ	0
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್	e^{-}	,,	1	,,	–1
ಮ್ಯೂಯಾನ್ (muon)	$\bar{\mu}$	,,	210	,,	–1
2. ಮೀಸಾನ್‌ಗಳು					
π–ಶೂನ್ಯ	π°	,,	270	,,	0
π–	π^{+}	,,	280	,,	+1
ಆಂಟಿ πಮೀಸಾನ್	π^{-}	,,	280	,,	–1
k–ಮೀಸಾನ್	k^{+}	,,	990	,,	+1

			(m_e)ಮಾನ		(e) ಮಾನ	
3. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಾನ್						
ಪ್ರೋಟಾನ್	p^+	,,	1836	,,	+1	
ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್	n	,,	1838	,,	0	
4. ಹೈಪರಾನ್						
ಲ್ಯಾಮ್ಡಾ	Δ°	,,	2230	,,	0	
ಸಿಗ್ಮ–⁺	Σ^+	,,	2380	,,	+1	
						ಇತ್ಯಾದಿ

ಈ ವಿಧವಾದ ವಿಚಿತ್ರ ಕಣಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದ ವಿಷಯವಾಗಿಯೂ, ಲಕ್ಷಣಗಳ ವಿಷಯವಾಗಿಯೂ, ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಎಡೆಬಿಡದೆ ನಡೆಯುತ್ತಲಿವೆ. ಇವುಗಳಿಂದ ನಮ್ಮ ಜ್ಞಾನದ ವೃದ್ಧಿಯು ಆಗುತ್ತಲಿದ್ದರೂ, ಹಲವಾರು ಹೊಸ ಸಮಸ್ಯೆಗಳು ಉದ್ಭವಿಸುತ್ತ ಪರಿಹಾರಕ್ಕಾಗಿ ಕಾದಿರುತ್ತವೆ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧ ಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಔಪಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಅತಿ ವಿಸ್ಮಯಕರವಾದ – ಹಾಗೂ ಲಾಭದಾಯಕವಾದ – ಪರಿಣಾಮಗಳಿಂದ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳನ್ನೂ ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಅಧ್ಯಾಯ 2

ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

2.1 ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಕೊನೆಯ ಐದು ವರ್ಷಗಳು ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಮಹತ್ತ್ವಪೂರಿತವಾದುವು. ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಹೊರಬಿದ್ದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಆಧುನಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಉದಯಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾದುವು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ 1896ರಲ್ಲಿ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಬೆಕ್ಕರಲ್ (Becquerel) ಕಂಡುಹಿಡಿದ 'ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ'ಯು ಬಹಳ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಯಿತು. ಇದೂ ಒಂದು ಆಕಸ್ಮಿಕ ಘಟನೆಯಿಂದ ಪ್ರಾಪ್ತವಾಯಿತೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಆದರೆ ಇಂಥ ಆಕಸ್ಮಿಕ ಘಟನೆಗಳೇ ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಅತ್ಯಂತ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸನ್ನಿವೇಶಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುತ್ತವೆ.

x- ಕಿರಣಗಳ ವಿಷಯವಾಗಿ ನಡೆಸಲಾಗುತ್ತಿದ್ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಅಂಗವಾಗಿ, ಕೆಲವು ಪದಾರ್ಥಗಳ ರಂಜಕಶಕ್ತಿ (phosphorescence) ಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ, ಪೊಟಾಸಿಯಂ ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂನ ಸಲ್ಫೇಟ್ ವಸ್ತುವಿನ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುವ ಉದ್ದೇಶವನ್ನು ಬೆಕ್ಕರಲ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಹೊಂದಿದ್ದನು. ಆಗ ತಿಳಿದಿದ್ದರ ಪ್ರಕಾರ ಈ ವಸ್ತುವನ್ನು ಮೊದಲು ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ ನಂತರ ಆ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕ (photographic plate) ದ ಮೇಲೆ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕೆಂದಿದ್ದನು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಆ ವಸ್ತುವನ್ನು ಕಪ್ಪುಕಾಗದದಿಂದ ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಮುಚ್ಚಲಾಗಿದ್ದ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕವನ್ನು ಇಟ್ಟು ಅದರ ಮೇಲೆ ಸೂರ್ಯರಶ್ಮಿಗಳು ಬೀಳಬೇಕೆಂದು ಹಲವಾರು ದಿನಗಳು ಕಾದರೂ, ಮೇಘಾಚ್ಛಾದಿತ ವಾತಾವರಣದ ದೆಸೆಯಿಂದ ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕನ್ನು ಕಾಣುವುದೇ ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಹೀಗಾದರೂ ಕುತೂಹಲದಿಂದ ಆ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕವನ್ನು ಮಾಮೂಲಿನಂತೆ ರಾಸಾಯನಿಕ ದ್ರವಗಳಿಂದ ತೊಳೆದು (develop) ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದಾಗ, ಅದು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಕಪ್ಪಾಗಿ ಹಾಳಾದಂತೆ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಅಂದಮೇಲೆ, ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕು ಇಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ಆ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ, ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಗುಣವಿಶೇಷದಿಂದ ಬೆಳಕಿಗಿಂತ ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದಿರಬೇಕೆಂದು ಬೆಕ್ಕರಲ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ ಭಾಸವಾಯಿತು. ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು

ಮುಂದುವರಿಸಿದಮೇಲೆ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನ ಪ್ರಭಾವದಿಂದಲೇ ಶಕ್ತಿವಿಕಿರಣವಾಗಿರುವ ಒಂದು ಹೊಸ ಕ್ರಿಯೆಯ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತವಾದುದೆಂದೂ, ತಾಪ ಮುಂತಾದ ಯಾವ ಭೌತ ಬದಲಾವಣೆಗಳೂ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಹೊಂದಿಲ್ಲವೆಂದೂ ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು. ಯುರೇನಿಯಂ ಧಾತುವಿನ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಈ ಹೊಸ ಕ್ರಿಯೆಯು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು. ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಈ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಬೆಕ್ಕರಲ್ ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಹೆಸರಿಡಲಾಯಿತು. ಮ್ಯಾಡಂ ಕ್ಯೂರಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ಒಳಗೊಂಡ ಹಲವಾರು ಅದುರುಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆಯನ್ನು ಮಾಡಿದುದರ ಫಲವಾಗಿ, ಪಿಚ್ ಬ್ಲೆಂಡ್ ಎಂಬ ಲೋಹವಿಶೇಷದಿಂದ, ರೇಡಿಯಂ ಮತ್ತು ಪೊಲೋನಿಯಂ ಎಂಬ ಎರಡು ಅತ್ಯಂತ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿಗಿಂತ ಲಕ್ಷಾಂತರ ಪಾಲಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಡಂ ಕ್ಯೂರಿಯ ಈ ಸಾಧನೆಯು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದುದು. ಷ್ಮಿಟ್ (Schmidt) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಥೋರಿಯಂ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಹೀಗಾಗಿ, ಯುರೇನಿಯಂ, ರೇಡಿಯಂ, ಥೋರಿಯಂ ಮುಂತಾದ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ 'ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುತ' (radio-active) ವಸ್ತುಗಳೆಂಬ ನಾಮಧೇಯವು ಮ್ಯಾಡಂ ಕ್ಯೂರಿಯಿಂದ ಕೊಡಲ್ಪಟ್ಟಿತು.

2.2 ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಲಕ್ಷಣಗಳು

(1) ಯುರೇನಿಯಂ, ರೇಡಿಯಂ ಮೊದಲಾದ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ರಶ್ಮಿಗಳು ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಶಕ್ತಿ (penetrating power) ಯನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಅವುಗಳನ್ನು ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ದಪ್ಪದ ಅಲುಮಿನಿಯಂನಂಥ ಲೋಹದ ಪದರ (ಸುಮಾರು $\frac{1}{10}$ ಮಿ.ಮೀ.ದಪ್ಪ) ದ ಮೂಲಕ ತೂರುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾಗುವುದು. ಇವುಗಳು ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕಗಳನ್ನು ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡಬಲ್ಲವು. ಅನಿಲಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು (ionising gases) ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ರಾಸಾಯನಿಕ ಭೇದಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಬಲ್ಲವು. ZnS ನಂಥ ಸ್ಫುರಣ ವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಅವುಗಳನ್ನು ಮಿನುಗುವಂತೆ (scintillatious) ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

(2) ರಶ್ಮಿಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತಲಿರುತ್ತವೆ. ಇದು ಒಂದು ವಿಪರ್ಯಸ್ತವಲ್ಲದ (irreversible) ಕ್ರಿಯೆ.

(3) ಈ ರಶ್ಮಿಗಳ ಉತ್ಸರ್ಜನವನ್ನು ಯಾವ ಬಾಹ್ಯ ಕರ್ತೃವಿನಿಂದಾಗಲಿ ತಡೆಯುವುದಾಗಲಿ, ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡುವುದಾಗಲಿ ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದು ಸ್ವಭಾವಜನ್ಯವಾದ ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತ (spontaneous) ಕ್ರಿಯೆ.

(4) ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಒಂದು ವಿಲಂಬಿತವಾದ (prolonged) ವಿಕಿರಣ (emission) ವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

(5) ಈ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಲಕ್ಷಣವನ್ನಾಗಿ ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ತಮ್ಮದೇ ಆದ ವೈಯಕ್ತಿಕವಾದ ಭೌತ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ ಧಾತುಗಳ ಪುನರಾವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ತಮ್ಮ ನಿಗದಿ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ರೇಡಿಯಂ ಧಾತುವಿನ ಸ್ಥಾನವು ಎರಡನೆಯ ಗುಂಪಿನ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಬೇರಿಯಂ, ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ ಮೊದಲಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಗುಂಪಿನಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ.

(6) ಮೂಲ ಲೋಹ ಅದುರುಗಳಿಂದ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವುದು ಬಹಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದ ವಿಧಾನ. ಒಂದು ಟನ್ ತೂಕದ ಯುರೇನಿಯಂ ಅದುರಿನಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ದೊರಕುವ ರೇಡಿಯಂನ ಜಡಾಂಶವು ಒಂದು ಗ್ರಾಮಿನ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಭಾಗ ಮಾತ್ರ. ಇದರಿಂದಲೇ ರೇಡಿಯಂ ಅಷ್ಟು ಅಮೌಲ್ಯ ವಾದುದು.

(7) ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ರಶ್ಮಿಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ವಿಧಗಳನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು α, β ಮತ್ತು γ ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಈ ಮೂರು ಬಗೆಗಳ ಸ್ವರೂಪ ಮತ್ತು ಲಕ್ಷಣಗಳ ಭೇದಗಳು ಎಷ್ಟು ಭಿನ್ನವಾಗಿರುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

α–ಕಿರಣಗಳು :

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಇದೆ. ಇವುಗಳ ಸ್ವರೂಪವು ಹೀಲಿಯಂ ಅನಿಲದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಅವುಗಳ ಪರಮಾಣುತೂಕ 4 ಮತ್ತು ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶ ಎರಡು ಮಾನಗಳು ($+2e$). ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದ ಇವುಗಳ ಗಮನ ಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ಬಾಗಿಸ ಬಹುದು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಸ್ಫುರಣಶಕ್ತಿಯೂ, ಅನಿಲಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಉಂಟುಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿಯೂ ಇವೆ.

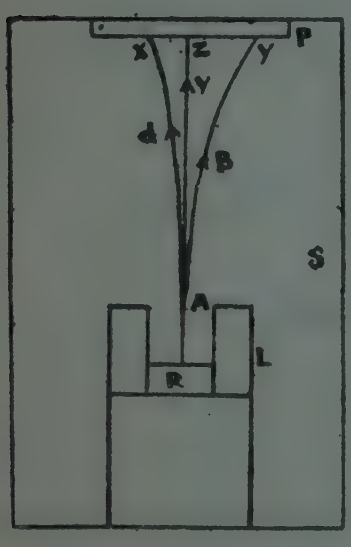
β–ಕಿರಣಗಳು :

ಇವುಗಳು ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು (–e) ಹೊಂದಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೇ ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಇವುಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ವೇಗಗಳಲ್ಲಿ ಅಪಾರ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿದ್ದು ಕೆಲವು ಕಿರಣಗಳು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತವೆ. α–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನು ತೂರುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು β–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸುಮಾರು 100 ಪಾಲಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳೂ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದ ಬಾಗುತ್ತವೆ.

γ–ಕಿರಣಗಳು :

α– ಮತ್ತು β–ಕಿರಣಗಳು ಕಣಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಿದರೆ, γ–ಕಿರಣಗಳು x–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತಲೂ ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ವಿಕಿರಣ (electro-magnetic radiation) ದಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದ ಬಾಗಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಇವುಗಳ ತೂರುವ ಶಕ್ತಿ (penetrating power) ಯಾದರೋ β–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ 100 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿಯೂ ಅಂದರೆ, α–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಸುಮಾರು 10,000 ಪಾಲಿನಷ್ಟು ಇರುತ್ತದೆ. ಸೀಸದಂಥ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುವಿನ ಹಲವಾರು ಸೆಂ.ಮೀ.ಗಳ ದಪ್ಪದ ಗಟ್ಟಿ (block) ಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದರೂ, ಶಕ್ತಿಯು ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಕುಗ್ಗುವುದಿಲ್ಲ.

(8) ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಮೂರು ಭಿನ್ನ ಲಕ್ಷಣಗಳುಳ್ಳ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ಬೇರ್ಪಡಿಸುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ಮ್ಯಾಡಂ ಕ್ಯೂರಿಯವರು ಮೊದಲು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು.



ಚಿತ್ರ 2.1 α–β–γ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗ

ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಚಿತ್ರ (2.1) ದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

S ಎಂಬ ಒಂದು ನಿರನಿಲ ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿ (evacuated enclosure) L ಎಂಬ ಒಂದು ದಪ್ಪದ ಸೀಸದ ಗಟ್ಟಿಯನ್ನು ಇಟ್ಟಿದೆ. ಇದರ ಮೇಲ್ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ರಂಧ್ರವನ್ನು ಕೊರೆದು (A) ಅದರ ತಳದಲ್ಲಿ R ಎಂಬ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಪರೀಕ್ಷಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಇಟ್ಟಿರುತ್ತದೆ. ಆವರಣದ ಮೇಲ್ಭಾಗದಲ್ಲಿ P ಎಂಬ ಒಂದು ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಿರುವಲ್ಲಿ ಚಿತ್ರದ ಸಮತಲಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಏರ್ಪಡಿಸಿದರೆ, ಇದರ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ

R ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ಗಮನಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ಬದಲಾವಣೆಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಕಿರಣಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಬಾಗಿ, ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕ (P) ದ ಮೇಲೆ ತಾಕುವ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಸ್ವಲ್ಪ ದೀರ್ಘ ಕಾಲಾವಧಿಯ ಮೇಲೆ, P ತಟ್ಟೆಯನ್ನು ತೆಗೆದು ತೊಳೆದು (develop) ನೋಡಿದರೆ, X, Y, Z ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಕಪ್ಪು ಭಾಗಗಳು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಕಾಣುತ್ತವೆ. X ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ α–ಕಿರಣಗಳೂ, Y ನಲ್ಲಿ β–ಕಿರಣಗಳೂ ; Zನಲ್ಲಿ γ–ಕಿರಣಗಳೂ ಸಂಘರ್ಷಣೆಯಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸಬಹುದು. ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ AZ ಎಂಬ ನೇರ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ γ–ಕಿರಣಗಳು ಯಾವ ಬಾಗುವಿಕೆಯೂ ಇಲ್ಲದೆ ಹೋಗಿರಬೇಕು. ಇದರ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ α–ಕಿರಣಗಳೂ, ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಹೊಂದಿರುವ β–ಕಿರಣಗಳೂ ವಿರೋಧ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ಬಾಗಿರುವುದೂ ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಮೂರು ಬಗೆಯ ಕಿರಣಗಳನ್ನೂ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

(9) ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ನಿರಂತರವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತಿರುವ ಈ ಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಸರ್ಜನೆಯಿಂದ ಹೊಸ ಹೊಸ ಧಾತುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತಲೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪರಂಪರೆಯು (series) ಇರುವ ನಮೂನೆಯು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂತತಿಗಳ ಉತ್ಪನ್ನವು ಒಂದು ನಿಯಮಿತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತ ಕ್ರಿಯೆಯು ಧಾತುಗಳ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಾಂಶ (nucleus) ಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ (natural transmutation) ಯೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಅನುಕರಿಸಿ, ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ (artificial transmutation) ಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನು ಮಾಡುವುದು ಆಧುನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೊಡ್ಡ ಸಾಹಸವಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ನಿರೂಪಿಸಲಾಗುವುದು.

2.3 ಉತ್ಸರ್ಜನ ಕಿರಣಗಳ ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಗುಣಗಳು

α–ಕಿರಣಗಳು :

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, α–ಕಿರಣಗಳು ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಅಪಾರವಾದ ವೇಗದಿಂದ ಚಿಮ್ಮುತ್ತವೆ. ಈ ವೇಗಗಳ ಅವಧಿಯು 1.45×10^9 ಸೆ.ಮೀ.ನಿಂದ 2.2×10^9 ಸೆಂ.ಮೀ/ಸೆಕೆಂಡ್‌ವರೆಗೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಹೊರಬಿದ್ದ

ಕಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳು ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಬಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡುವ ಅಳತೆಗಳಿಂದ ಈ ಕಣಗಳ $\frac{E}{M}$ (E = ವಿದ್ಯುದಂಶ ; M = ಜಡಾಂಶ) ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕಣಗಳು ಅನಿಲದ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಅದರಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣದಿಂದ ವಿದ್ಯುದಂಶ ಕಣ (ions) ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ವಿಧಾನವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಸೂಕ್ತ ಗಣಕ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು (counters) ರೂಢಿಸುವುದರಿಂದ, ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶ (E) ವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯ ಬಹುದು. α–ಕಿರಣಗಳು ZnS ಅಂಥ ಸ್ಫುರಣವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದರೆ, ಅದರಿಂದ ಬೆಳಕು ಹೊರಬಿದ್ದು ಆ ವಸ್ತುವು ಮಿನುಗುತ್ತದೆ (Scintillation) ಈ ಬೆಳಕನ್ನು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿ, ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ಬಿಡಿ ಬಿಡಿಯಾಗಿ ಎಣಿಸಲು ಕೂಡ ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯ ಬಹುದು. $\frac{E}{M}$ ಮತ್ತು E ಗಳು ಗೊತ್ತಾದಮೇಲೆ ಜಡಾಂಶ (M) ದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯ. ಈ ಎಲ್ಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ,

$$\frac{E}{M} = 4820 \text{ e. m. u.}$$

$E = 9.1 \times 10^{-20}$ e. m. u. = 2e (ಸುಮಾರು) (e = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿದ್ಯುದಂಶ)

$M = 6.6 \times 10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ (= 4 M_H = 4 × ಪ್ರೋಟಾನ್ ಜಡಾಂಶ)

E_H ಮತ್ತು M_Hಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮೌಲ್ಯಗಳಾದರೆ,

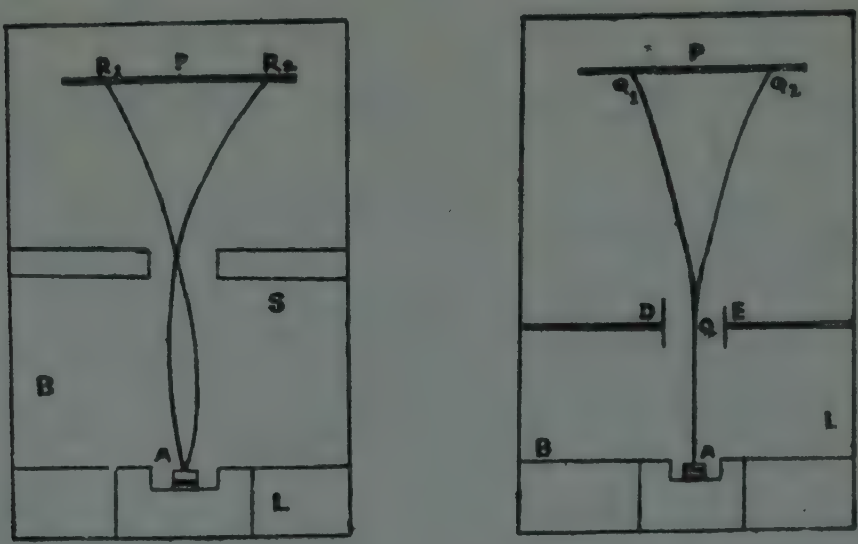
$$\frac{E}{M} = \frac{2e}{4M_H} = \frac{1}{2}\left[\frac{E_H}{M_H}\right] \text{ ಆಗುತ್ತದೆ.} \qquad (2.1)$$

ಅಂದರೆ, α–ಕಣವು ಹೀಲಿಯಂ (He) ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ. α–ಕಣವು ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಂಡ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವೇ (doubly ionised helium atom) ಎಂಬ ಅಂಶವು ರೋಹಿತಮಾಪಕದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿದೆ.

ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುತ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α–ಕಣಗಳ ವೇಗವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಅವುಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರ (range) ವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತು

ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ದೂರವು ಯಾವ ವಸ್ತುವಿನ ಮೂಲ ಕಣಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸುತ್ತೇವೆಯೋ ಅದರ ರಚನೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. α–ಕಣಗಳ ವೇಗವು V ಆಗಿದ್ದು ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿ K ಆಗಿ, ಅವುಗಳನ್ನು ವಸ್ತುವಿನ R ಸೆಂ.ಮೀ. ದಪ್ಪದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸುವುದರಿಂದ ವೇಗವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿ ಅದರಿಂದ ತಡೆಯಲ್ಪಟ್ಟರೆ, R ಎಂಬುದು ವ್ಯಾಪಕ ದೂರ (range) ವೆನಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾದರೆ, $R = bK^{3/2}$ ಎಂಬ। ಸೂತ್ರವನ್ನು ಗೈಗರ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಈಗ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್, ಗೈಗರ್ ಮೊದಲಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣಗಳ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

$\frac{E}{M}$ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣ



(a) (b)

2.2 α–ಕಿರಣಗಳ E/M

ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ $\frac{e}{m}$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣದಂತೆಯೇ α–ಕಿರಣಗಳಿಗೂ ಜೆ.ಜೆ. ಥಾಂಸನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಮಾದರಿಗಳು ಚಿತ್ರ (2.2) ದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿತವಾಗಿವೆ. B ಎಂಬುದು ಒಂದು ನಿರನಿಲ ಆವರಣ. ಇದರ ತಳದಲ್ಲಿ L ಎಂಬ ಸೀಸದ ಗಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ರಂಧ್ರವನ್ನು ಮಾಡಿ ಅದರೊಳಗೆ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಪದಾರ್ಥ (Ra.C) ವನ್ನು ಇಟ್ಟಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು A ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಚಿತ್ರ (a) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ A ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α–ಕಿರಣಗಳು ಚಿತ್ರದ ಸಮತಲಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವಂತೆ ನಿರ್ಮಿಸಿರುವ ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ (ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ) ದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ವರ್ತುಲ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸಂಚರಿಸಿ, S ರಂಧ್ರದ ಮೂಲಕ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ

(P) ಫಲಕವನ್ನು R_1 ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸುತ್ತವೆ. ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಧ್ರುವಗಳನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿದರೆ (reversed) ಈ ಪಥವು A S R_2 ಆಗಿ, R_2 ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ α–ಕಣಗಳು ಸಂಧಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಪಥಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯ (r) ವನ್ನು ಅಳೆಯಲಾಯಿತು. ಕಣಗಳ ವೇಗವು v ಆಗಿಯೂ, ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಬಲವು H ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ

$$H E v = \frac{Mv^2}{r}$$

$$\therefore \frac{E}{M} = \frac{v}{Hr}. \qquad (2.2)$$

ಚಿತ್ರ (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಇದೇ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಮಾಡಿ, A ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α–ಕಣಗಳನ್ನು D ಮತ್ತು E ಎಂಬ ಎರಡು ಲೋಹದ ತಟ್ಟೆಗಳ ನಡುವೆ ಹಾಯಿಸಿ, ಆ ತಟ್ಟೆಗಳ ನಡುವೆ ಸುಮಾರು 20,000 ವೋಲ್ಟ್/ಸೆಂ.ಮೀ. ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಿದರೆ, α–ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗವು ಬದಲಾವಣೆಯಾಗಿ, ಅವುಗಳು OQ_1 ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಬಾಗುತ್ತವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಆ ಕಿರಣಗಳು ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕವನ್ನು Q_1 ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸುತ್ತವೆ. ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ದಿಕ್ಕನ್ನು ವಿರೋಧವಾಗಿ ತಿರುಗಿಸಿದರೆ (reversed) ಸಂಧಿಸುವ ಪ್ರದೇಶವು Q_2 ಆಗುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ, ಕಿರಣಗಳ $\left[\frac{E}{M}.\ v^2\right]$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಇಲ್ಲಿ E = ಕಿರಣಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶ; M = ಅವುಗಳ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು v = ವೇಗ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಎರಡು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ, ಕಿರಣಗಳ ವೇಗವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ $\frac{E}{M} = 4820$ e. m. u. ಎಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೆ $\frac{E_H}{M_H}$ ಮೌಲ್ಯವು 9650 ಆದ್ದರಿಂದ, $E = 2E_H$ ಮತ್ತು $M = 4\ M_H$ ಎಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ α–ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಧನವಾಗಿಯೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎರಡರಷ್ಟೂ, ಅವುಗಳ ತೂಕವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ನಾಲ್ಕರಷ್ಟೂ ಇರಬೇಕೆಂದು ಖಚಿತವಾಗುತ್ತದೆ.

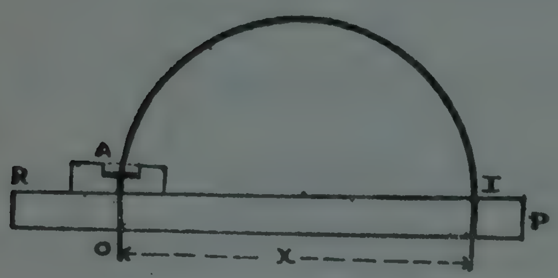
α–ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು, ಅವುಗಳನ್ನು ಬಿಡಿ ಬಿಡಿಯಾಗಿ ಎಣಿಸುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಾಧ್ಯವಾಗುವ ಗಣಕ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಮುಂದೆ ವಿವರಿಸಲಾಗುವುದು. ಹಾಗೆಯೇ ಅವುಗಳು ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯ ಪರದೆಗಳ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ

ಸ್ಫುರಣ (scintillations) ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಗಣಕಗಳು (counter) ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿಮರ್ಶಿಸಲಾಗುವುದು.

2.4 β–ಕಿರಣಗಳು :

α–ಕಣಗಳಿಗೆ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿದ್ದು ಅವುಗಳ ತೂಕವು ಪ್ರೋಟಾನಿನ ತೂಕದ ನಾಲ್ಕರಷ್ಟು ಇರಬೇಕೆಂದು ಗೊತ್ತಾದಮೇಲೆ, ಅವುಗಳು ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವೆಂದು ದೃಢಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಇನ್ನು β–ಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪದ ವಿಷಯವಾಗಿಯೂ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆದಿವೆ.

1899 ರಲ್ಲಿಯೇ, ಗೀಸಲ್ (Giesel) ಮತ್ತು ಬೆಕ್ಕರಲ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು β–ಕಿರಣಗಳು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆಯೆಂದು ಅವುಗಳನ್ನು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಬಾಗಿಸುವ ಲಕ್ಷಣದಿಂದ ನಿರ್ಧಾರ ಮಾಡಿದರು. ಈ ವಿಧಾನದ ಸರಳ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಚಿತ್ರ (2.3) ದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 2.3 β – ಕಿರಣಗಳು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಬಾಗುವುದು

A ಎಂಬ ಒಂದು ಸೀಸದ ಆಧಾರ ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿ R ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುವನ್ನು ಇಟ್ಟಿದೆ. ಇದರ ಮೇಲ್ಭಾಗವು ತೆರೆದಿರುವುದರಿಂದ, ಅಲ್ಲಿಂದ ಹೊರಗಡೆ ಚಿಮ್ಮುವ β–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಬೇಕು. ಈ ಕ್ಷೇತ್ರದ ದಿಕ್ಕು ಚಿತ್ರದ ಸಮತಲಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿದ್ದರೆ, β–ಕಿರಣಗಳು ಚಿತ್ರದ ಸಮತಲದಲ್ಲಿಯೇ ಅರ್ಧವೃತ್ತದ ಪಥದಲ್ಲಿ ಬಾಗುತ್ತವೆ. P ಎಂಬುದು ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಲಕ. β–ಕಣಗಳು ವರ್ತುಲಪಥದಲ್ಲಿ ಯಾನ ಮಾಡಿ, ಫಲಕದ ಮೇಲೆ I ಎಂಬ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಸಂಧಿಸಿದರೆ, I ಒಂದು ಪ್ರತಿಬಿಂಬದಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಫಲಕದಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದಾಗಿ, ಕಪ್ಪು (blackening) ಪರಿಣಾಮವುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಕಿರಣಗಳ ಜಡಾಂಶವು m ಆಗಿದ್ದು, v ಅವುಗಳ ವೇಗವಾದರೆ, ಅವುಗಳ ವೇಗ ಪರಿಮಾಣ ಅಥವಾ ಆವೇಗ (momentum) ಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, I ಪ್ರದೇಶದ ಸ್ಥಾನವೂ ಬದಲಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ $OI = x$ ಆದರೆ,

$$x = 2r = \frac{2mv}{eH} \qquad (2.3)$$

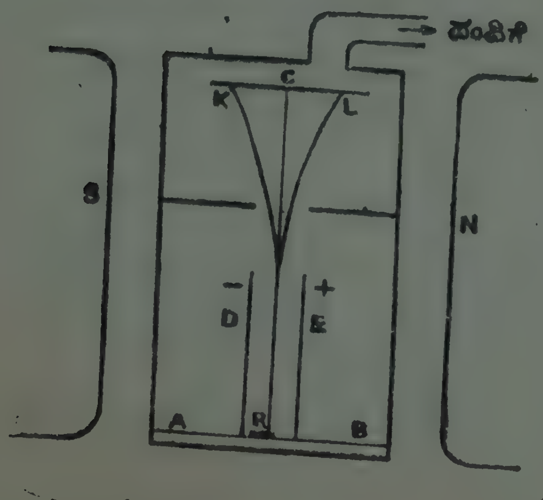
ಇಲ್ಲಿ r = ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯ ; H = ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಬಲ.

ಆದ್ದರಿಂದ ಕಣಗಳ ಆವೇಗ (mv) ಯು ಬದಲಾಯಿಸಿದಂತೆ, 'x' ಕೂಡ ಬದಲಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಈ ವಿವಿಧ ಕಪ್ಪು ಪ್ರದೇಶಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ 'x' ಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅಳೆಯುವುದರಿಂದ mv ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದು ಜಾತಿಯ ಕಣಗಳಿಗೂ ಬೇರೆಯಾಗುತ್ತದೆಂದು ನಿರ್ಧರಿಸಬಹುದು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ, ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿ, ಅದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸ್ಥಾನಪಲ್ಲಟಗಳನ್ನು ಅಳೆಯುವುದರ ಮೂಲಕ ವೇಗ (v) ವನ್ನೂ $\frac{e}{m}$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.

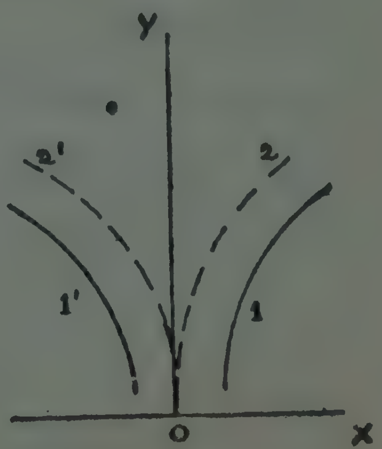
ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾದ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ, ಈ β–ಕಿರಣಗಳ ವೇಗವು ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ (c) ಕ್ಕೆ ಅತಿಸಮೀಪವಾಗಿದ್ದು $v = 0.96c$ ಕೂಡ ಇರಬಹುದೆಂದು ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು. $\frac{e}{m}$ ಯ ಮೌಲ್ಯವು ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಇರುವ ಮೌಲ್ಯಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ β–ಕಣಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೇ ಆಗಿರಬೇಕೆಂದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು.

ಕಾಫ್‌ಮನ್ ಪ್ರಯೋಗಗಳು

ಥಾಮ್‌ಸನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳ $\frac{E}{M}$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಪರವಲಯದ (parabolic) ವಿಧಾನವನ್ನೇ ಕಾಫ್‌ಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು β–ಕಿರಣಗಳ $\frac{e}{m}$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಉಪಯೋಗಿಸಿದನು. ಈ ಉಪಕರಣದ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 2.4 ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 2.4



ಚಿತ್ರ 2.5

S N ಕಾಂತ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಏರ್ಪಡಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ V ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ನಿರನಿಲ ಆವರಣವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದು ಪಂಪಿಗೆ ಸಂಪರ್ಕಮಾಡಿಸಿ, ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ತಳಭಾಗದಲ್ಲಿ AB ಎಂಬ ಒಂದು ಲೋಹದ ತಟ್ಟೆಯನ್ನು ಇಟ್ಟು ಅದರ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಗುಳಿಯಲ್ಲಿ ರೇಡಿಯಂ ಬ್ರೋಮೈಡ್ ವಸ್ತುವಿನ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ತುಂಡು (R) ಇದ್ದರೆ, ಇದರಿಂದ ಹೊರಚಿಮ್ಮುವ α, β, γ ಕಣಗಳನ್ನು ಮೇಲ್ಗಡೆಯಿರುವ ಮತ್ತೊಂದು ದಪ್ಪ ಲೋಹವ ತಗಡಿನ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ O ಎಂಬ ಒಂದು ಕಂಡಿಯ ಮೂಲಕ ತೂರುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಇವುಗಳ ಗಮನಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ D ಮತ್ತು E ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಎರಡು ಸಮಾನಾಂತರ ಲೋಹದ ತಟ್ಟೆಗಳ ನಡುವೆ ಹಲವಾರು ಸಾವಿರ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದೆ. ಚಿತ್ರ 2.5 ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ E + ಧ್ರುವವಾಗಿಯೂ, D –ಧ್ರುವವಾಗಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಇಡೀ ಉಪಕರಣದ ಭಾಗವನ್ನು N S ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, ಈ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ದಿಕ್ಕೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ದಿಕ್ಕೂ ಒಂದು ಸಮತಲದಲ್ಲಿ ಸಮಾನಾಂತರವಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿರುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಗೆ ಏಕ ಕಾಲದಲ್ಲಿಯೇ, R ನಿಂದ ಹೊರಡುವ ಕಣಗಳು ಒಳಗಾಗಿರುತ್ತವೆ. γ ಕಣಗಳ ಮೇಲೆ ಈ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಪ್ರಭಾವವಿರುವುದಿಲ್ಲ. α ಕಣಗಳ ಮೇಲೆಯೂ, ಪರಿಣಾಮವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿದ್ದು, ಇವುಗಳು ನೇರವಾಗಿ RO ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿಯೇ ಚಲಿಸಿ, KL ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಲಕದ ಮೇಲೆ C ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸುತ್ತವೆ. β–ಕಿರಣಗಳಾದರೋ, ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಏಕಕಾಲಿಕ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ, ತಮ್ಮ ಗಮನಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಪರವಲಯಾಕೃತಿಯ ಪಥದಲ್ಲಿ ಬಾಗಿ, ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕವನ್ನು Z ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸುತ್ತವೆ. ಎರಡು ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಪಲ್ಲಟಗಳು ಲಂಬನೇರಗಳಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ, ಅಂತಿಮವಾಗಿ, ಪರವಲಯಾಕೃತಿಯು ಬರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಬೇಕಾದರೆ, β–ಕಣಗಳ ವೇಗವು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಪರವಲಯಾಕೃತಿಯ ಒಂದೊಂದು ಬಿಂದುವೂ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವೇಗಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಚಿತ್ರ (2.5) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಈ ಪರವಲಯಾಕೃತಿಯು 1 ರ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. O X ಮತ್ತು O Y ಎಂಬ ಎರಡು ಲಂಬ ಅಕ್ಷಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದರೆ, ಈ ಗುರುತಿನಲ್ಲಿ (trace) ರುವ ಒಂದೊಂದು ಬಿಂದುವಿನ ಸ್ಥಾನನಿರ್ದೇಶಕ ಸಂಖ್ಯೆ (co-ordinates) ಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಥವಾ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ದಿಕ್ಕನ್ನು ವ್ಯತ್ಯಸ್ತ (reverse) ಗೊಳಿಸಿ, 1 ಗೆ ಅನುರೂಪವಾದ ಮತ್ತೊಂದು ಗುರುತು (1′) O Y ಅಕ್ಷದ ಮತ್ತೊಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾದ ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, R ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ β–ಕಿರಣಗಳೆಲ್ಲವೂ ಒಂದೇ ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಅವುಗಳ ವೇಗದ ಉಚ್ಚ ಮಿತಿಯು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಅತಿ ಸಮೀಪವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ವೇಗಗಳ ಮಿತಿಗಳು 2.36×10^{10} ಸೆಂ.ಮೀ.—2.83×10^{10} ಸೆಂ.ಮೀ./ಸೆಕಂಡ್—ಗಳಾಗಿರುವಂತೆ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಎಲ್ಲಾ ವೇಗಗಳ ಮಟ್ಟಗಳಿಗೂ $\frac{e}{m}$ ಮೌಲ್ಯವು ಒಂದೇ ಇದ್ದಿದ್ದರೆ, ಪರವಲಯದ ರೇಖೆಗಳು (traces) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ 2, 2′ ಆಗಿರಬೇಕಾಗಿದ್ದಿತು. (ಸಣ್ಣಗೆರೆ ರೇಖೆಗಳು)–ವಾಸ್ತವವಾಗಿ 1, 1′ ರೇಖೆಗಳು ಕಂಡುಬರುವುದರಿಂದ, β–ಕಣದ ವೇಗವು ಬದಲಾಯಿಸಿದಂತೆ ಅದರ ಜಡಾಂಶ (m) ವೂ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ವೇಗ (v) ವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ಜಡಾಂಶ (m) ವೂ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆಂಬುದು ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ನಿಖರವಾಯಿತು. ಈ ವಿಚಾರವು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್‌ನ ಸಾಪೇಕ್ಷವಾದದ ಪ್ರಕಾರ ಗೊತ್ತಿದ್ದರೂ, ಅದಕ್ಕೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯು ಇಲ್ಲಿ ದೊರಕಿದಂತಾಯಿತು. ಆ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ, m_0 ಎಂಬುದು ಒಂದು ಕಣದ ಸಮಸ್ಥಿತಿ ಜಡಾಂಶ (rest-mass: $v = 0$) ವಾಗಿಯೂ, ಅದರ ವೇಗವು 'v' ಆದಾಗ, ಜಡಾಂಶವು m ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, ಆ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (\ c = \text{ಬೆಳಕಿನವೇಗ}\ ) \qquad (2.4)$$

v ಯ ಪ್ರಮಾಣವು c ಗೆ ಬಹಳ ಸಮೀಪಿಸಿದರೆ, ಜಡಾಂಶ (m) ದ ಮೌಲ್ಯವು ಅತ್ಯಧಿಕವಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. 'e' ಯ ಬೆಲೆಯು ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದರೆ, ಈ ಅತಿವೇಗದ ಕಣಗಳಿಗೆ $\frac{e}{m}$ ಬೆಲೆಯು ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

$$\text{ಅಂದರೆ,} \quad \frac{e}{m} = \frac{e}{m^0}\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \qquad (2.5)$$

ಆದ್ದರಿಂದ 'v' ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ β–ಕಿರಣದ $\frac{e}{m}$ ಕೂಡ ಕಡಮೆಯಾಗಬೇಕು.

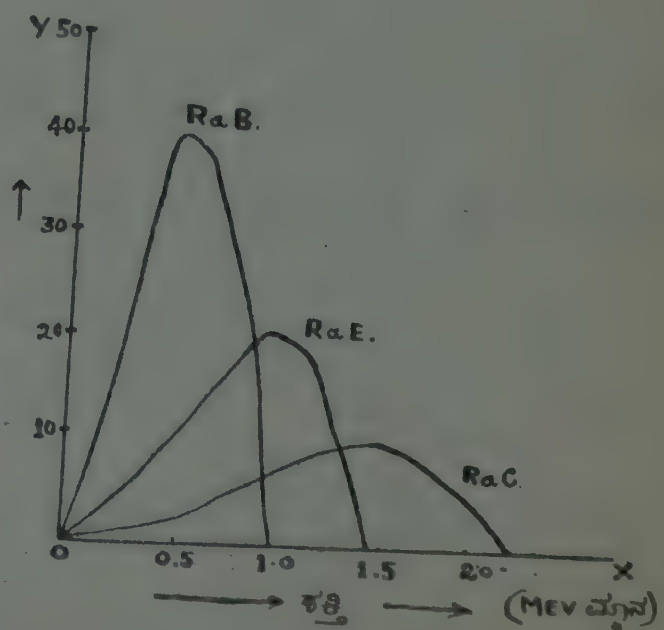
ಕಾಫ್‌ಮನ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಈ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟವು. ಇವುಗಳಿಂದ $\frac{e}{m_0}$ ಮೌಲ್ಯವು ಒಂದೇ ಆಗಿರುವುದಾಗಿಯೂ, ಅದು

ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ (ಮಂದಗಾಮಿ ಕಿರಣಗಳು) ಅನ್ವಯಿಸುವ ಮೌಲ್ಯಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾಗಿದ್ದುದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು.

ಬುಚರರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಇದೇ ವಿಧವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಇನ್ನೂ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿ, β–ಕಿರಣಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೇ ಎಂಬ ವಿಷಯವನ್ನು ಖಚಿತ ಪಡಿಸಿದನು. β–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಮಾತ್ರ ಒಳಪಡಿಸಿ, ವಿವಿಧ ಕಣಗಳನ್ನು ಸಂಗಮ ಮಾಡಿಸುವುದರ (focusing) ಮೂಲಕ ಅವುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾಗಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆದಿವೆ. ಇವುಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ (Chadwick) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕಾಂತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲ ಲೇಖಕ (magnetic spectrograph) ವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಇವುಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾದ ಅಂಶಗಳು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದಂತಿವೆ.

1. ವಿವಿಧ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ (radioactive substances) ಹೊರಡುವ β–ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳ ಮಿತಿಗಳು ಭಿನ್ನಭಿನ್ನವಾಗಿರುತ್ತವೆ. RaB ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳ ಮಿತಿಗಳು (0.36c – 0·82c) ಆದರೆ, RaC ನಿಂದ ಚಿಮ್ಮುವ ಕಿರಣಗಳ ವೇಗಗಳ ಅವಧಿಗಳು (0.63c – 0.986c) ಆಗಿರುತ್ತವೆ.

2. ಒಂದೇ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ β–ಕಣಗಳು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಒಳಗಾದರೆ, ಅವುಗಳೆಲ್ಲ ಏಕರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬಾಗದೆ, ಒಂದು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ರೋಹಿತದ (continuous spectrum) ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಹರಡಿರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಕಣಗಳ ವಿವಿಧ ವೇಗಗಳ ಹಂಚಿಕೆಯು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರ 2.6 ರಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 2.6 β–ಕಿರಣಗಳ ವೇಗರೋಹಿತ.

β–ರೋಹಿತದ ಈ ವರ್ತನೆಯನ್ನು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಸಮರ್ಥಿಸುವುದು ಒಂದು ತೊಡಕಿನ ಸಮಸ್ಯೆಯಾಗಿಯೇ ಪರಿಣಮಿಸಿತು.

β–ಕಿರಣಗಳು ವಸ್ತುವಿನ ಪದರಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು α–ಕಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಸರಳವಾಗಿಲ್ಲ. ಇದರ ಕಾರಣ, ಆ ಕಣಗಳ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಜಡಾಂಶಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದುದು. β–ಕಿರಣಗಳು ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಹೊರದೂಡುವಾಗ, ಅವುಗಳ ವೇಗವು

ಕಡಮೆಯಾಗಿ, ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿಯೂ ಪಲ್ಲಟಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ β–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ, α–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಹೇಳುವಂತೆ, ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾದ ವ್ಯಾಪ್ತಿದೂರ (range) ವನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ಕಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ. ವಿವಿಧ ವೇಗಗಳುಳ್ಳ β–ಕಿರಣಗಳು ಒಂದು ದ್ರವ್ಯ ವಸ್ತು(matter) ವಿನ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಒಂದು ವಿಧವಾಗಿ ಗ್ರಹಣವಾಗುತ್ತವೆ. ಏಕರೂಪದ ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ β–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ವ್ಯಾಪಕದೂರವನ್ನು ಸೂಚಿಸಬಹುದಾದರೆ, α–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಸುಮಾರು 100ರಷ್ಟು ಇದ್ದು, ವೇಗ ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆ ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ.

β–ಕಿರಣಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭಜನಾ ಶಕ್ತಿ (ionising power) α–ಕಿರಣ ಗಳಿಗಿಂತ ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದು, ಅವುಗಳ ಸುಮಾರು 1/100 ಭಾಗವಿರಬಹುದು. ಋಣವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನೇ ಹೊಂದದೆ ಇರುವ ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ತಿನ β–ಕಿರಣಗಳು ಹೇಗೆ ಹೊರಬೀಳಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂಬ ವಿಚಾರವನ್ನು ಮುಂದೆ ಪರಿಶೀಲಿಸ ಲಾಗುವುದು.

2.5 γ–ಕಿರಣಗಳು

ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವವು γ–ಕಿರಣಗಳ ಮೇಲೆ ಇಲ್ಲದ ಪ್ರಯುಕ್ತ ಇವುಗಳಿಗೆ ಯಾವ ವಿಧವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವೂ ಇಲ್ಲವೆಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. ಇತರ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ಪ್ರಕಾರ, ಇವುಗಳನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ಕನಿಷ್ಠ ತರಂಗದೂರದ, ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದ x–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಅತಿಕಡಮೆಯಾಗಿರುವ — ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ರಶ್ಮಿ ಪ್ರಸಾರದ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದುದರಿಂದ γ–ಕಿರಣಗಳ ತರಂಗದೂರವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದೇ ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಯಾಗುತ್ತದೆ.

x–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ವಕ್ರವಿಯೋಜನೆಯ (diffraction) ಉಪ ಕರಣವನ್ನು ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಆಂಡ್ರಡೆ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದರು. RaB ಮತ್ತು RaC ಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ γ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾದ ಹರಳುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿ ತರಂಗದೂರಗಳ ಅವಧಿಗಳನ್ನು $0.7 A^0$ ಮತ್ತು $1.3 A^0$ [$1 A^0 = 10^{-8}$ ಸೆಂ.ಮೀ] ಎಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ಮಾರ್ಪಾಡುಮಾಡಿ, ಥೀಬಾ (Thebaud) ಮತ್ತು ಫ್ರಿಲ್ಲಿ (Frilley) ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕನಿಷ್ಠ ಅವಧಿಯು $0.016 A^0$ ವರೆಗೂ ಇರುವುದಾಗಿ ತಿಳಿಸಿದರು. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಈ ಕಿರಣಗಳ ಸೂಕ್ಷ್ಮರೋಹಿತ ರೇಖೆ (fine line spectra) ಗಳನ್ನು ಕೂಡ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದರು.

ಕಡಮೆ ತರಂಗದೂರದ γ–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಹರಳುಗಳ ಮೂಲಕ ನಡೆಸುವ ವಿಧಾನಗಳು ಅಷ್ಟು ತೃಪ್ತಿಕರವಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಇವುಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಅವುಗಳನ್ನು

ದ್ರವ್ಯವಸ್ತು (matter) ವಿನ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸುವುದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (secondary electrons) ಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯುವ ವಿಧಾನಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಫಲಕಾರಿಯಾಗುವುವು. γ–ಕಿರಣಗಳು ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುವಾಗ ಮೂರು ಪರಿಣಾಮಗಳ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆ :

(i) **ಆಂತರಿಕ ಬದಲಾವಣೆಯ ವಿಧಾನ** – ಸಂಘರ್ಷಿತವಾದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಹೊರಗಣ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೊಂದಿಗೆ γ–ಕಿರಣವು ಗ್ರಹಣವಾಗಿ, ಅಲ್ಲಿಂದ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಉತ್ಸರ್ಜನೆಗೆ ಕಾರಣವಾಗಬಹುದು. ಇದು ಒಂದು ರೀತಿಯ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು.

(ii) ಒಂದು ಲೋಹದ ತಗಡಿನ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದರೆ, ಅದರಿಂದ ಹೊರಡುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ಕಲ್ಪಿತವಾಗುವ ಬಾಹ್ಯದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ರಿಯೆ.

(iii) ಕಾಂಪ್ಟನ್ ರೀತಿಯ ಚದರುವಿಕೆಯಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ γ–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ತರಂಗದೂರವನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. RaB ನಿಂದ ಹೊರಡುವ γ–ಕಿರಣಗಳ ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿಯು $[0.529 \times 10^5 \text{ eV}]$ ಎಂದೂ, ತರಂಗದೂರದ ಅವಧಿಗಳು 1A° ನಿಂದ 0.0001 A° ವರೆಗೆ ಇರುವುದೆಂದೂ ಖಚಿತವಾಯಿತು.

γ–ಕಿರಣಗಳು ದ್ರವ್ಯವಸ್ತುವಿನ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು, ಅದರ ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುವುದರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯ ಪರಿಣಾಮವೇನೆಂದರೆ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್–ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ದ್ವಂದ್ವಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆ (positron – electron pair production) – ಇದು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬೇಕಾದರೆ, γ–ಕಿರಣಗಳ ಮೂಲಶಕ್ತಿಯು 1 MeV ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು. ಏಕೆಂದರೆ, ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾಗಿರುವ ದ್ವಂದ್ವ ಕಣಗಳ ಒಟ್ಟು ಸಮಸ್ಥಿತಿ ಜಡಾಂಶ (rest-mass) ವು 1 MeV ಗೆ ಸಮಾನವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಶಕ್ತಿಯು ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯಿಸಿ, ಅದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಆಶಕ್ತಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಜಡಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಕಣಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವ ಸಂಭವಕ್ಕೆ ಪ್ರಯೋಗದ ಸಮರ್ಥನೆಯಾದಂತಾಯಿತು. ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ವಸ್ತುವಿನ ನಾಶದಿಂದ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಹಲವಾರು ನಿದರ್ಶನಗಳು ಇವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಶಕ್ತಿ–ವಸ್ತುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೆಯು ದ್ವಿಮುಖವಾದುದೆಂಬ ಅತಿ ಮಹತ್ತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ತತ್ತ್ವವು ಗೊತ್ತಾದಂತೆ ಆಗುತ್ತದೆ. γ–ಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಸರ್ಜನೆ, ಅದರಿಂದ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳ ವಿಷಯವನ್ನು ಮುಂದೆ ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

2.6 ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಕ್ಷಯಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ನಿಯಮಗಳು

ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಉತ್ಸರ್ಜನವಾಗುವ ಕಿರಣಗಳು ಮೂಲಧಾತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಿ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೇ ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳೂ ಕೂಡ ತಮ್ಮ ಸರದಿಯಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ α, β ಅಥವಾ γ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜನ ಮಾಡಿ ಮತ್ತೊಂದು ಪೀಳಿಗೆಯನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಮಾಡುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳೂ ಅದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ವರ್ತಿಸಿ ಹಲವಾರು ಸಂತತಿಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೆಲ್ಲಾ ಒಟ್ಟು ಗೂಡಿಸುವ ಒಂದು ಸರಪಳಿ ಅಥವಾ ಶ್ರೇಣಿ ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಈ ಶ್ರೇಣಿಗಳ ಮೇಲುಭಾಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮೂಲವಸ್ತುವಿದ್ದು ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಕೊನೆಗಾಣುತ್ತದೆ. ಈ ಕೊನೆಯ ವಸ್ತುಗಳು ಸೀಸಕ್ಕೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಂತೆ ಕಂಡುಬರುತ್ತವೆ.

ಈ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಕೂಲಂಕಷವಾಗಿ ಪರೀಕ್ಷಿಸಿ, ನಿಯಮಗಳನ್ನು ತಿಳಿಸಿ, ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದವರಲ್ಲಿ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್, ಸಾಡಿ ಮತ್ತು ಫಯನ್ಸ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಹೆಸರುಗಳನ್ನು ಉಲ್ಲೇಖಿಸಬಹುದು.

1913 ರಲ್ಲಿ ಸಾಡಿ ಮತ್ತು ಫಯನ್ಸ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಪಲ್ಲಟದ ಸೂತ್ರ (law of displacement) ದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ :

(i) ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುತ ವಸ್ತುಗಳಿಂದಲೂ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳು α– ಅಥವಾ β–ಕಣಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

(ii) ಒಂದು α–ಕಣದ ಉತ್ಸರ್ಜನದಿಂದ ಮೂಲ ಪರಮಾಣುವು ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿ ಹೊಸ ಪರಮಾಣುವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಕ್ರಮವಾಗಿ, 4 ಮತ್ತು 2 ಸಂಖ್ಯೆಗಳಷ್ಟು ಕಡಮೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. X– ಮೂಲ ಪರಮಾಣುವು, α–ಕಿರಣದ ಉತ್ಸರ್ಜನದಿಂದ Y– ಪರಮಾಣುವಾದರೆ,

$$\mathop{X}^{A}_{z} \xrightarrow[\alpha]{} \mathop{Y}^{A-4}_{z-2} \qquad (2.6)$$

ಇಲ್ಲಿ A ಮತ್ತು Z ಗಳು ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ (mass number) ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (atomic number) ಗಳಾಗಿವೆ.

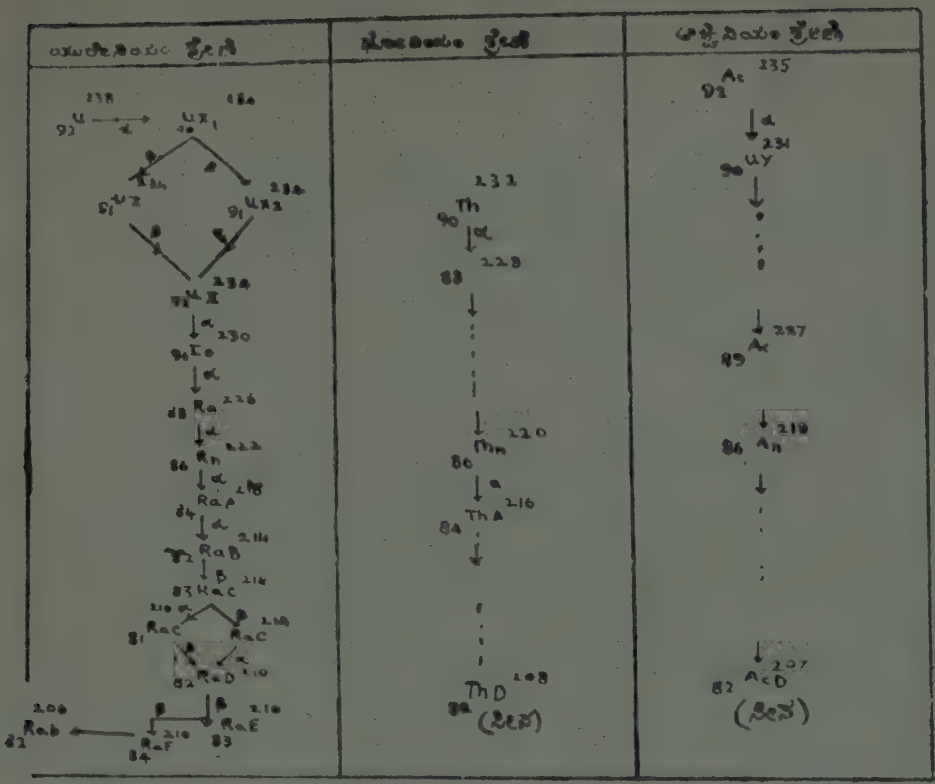
α–ಕಣವು ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶ ಕೇಂದ್ರವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ 4, ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ 2. ಇದು ಹೊರಬಿದ್ದ ಮೇಲೆ ಉಳಿಯುವ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದಂತೆ ಕಡಮೆಯಾಗಲೇಬೇಕು.

ಈ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಸ್ಥಾನಭೇದಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಪುನರಾವರ್ತನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ X ಗಿರುವ ಸ್ಥಾನಕ್ಕಿಂತ ಎರಡು ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಹಿಂದಕ್ಕೆ ಪಲ್ಲಟಮಾಡಿಸಿದರೆ Y ಸ್ಥಾನವು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, α–ಕಿರಣದ ಹೊರ ಬೀಳುವಿಕೆಯಿಂದ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಎರಡು ಸ್ಥಾನಗಳು ಹಿಂದಕ್ಕೆ ತಳ್ಳಿದಂತೆ ಆಗುತ್ತದೆ.

(iii) ಒಂದು β–ಕಣವು ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಹೊಸ ವಸ್ತುವಿನ ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆಯು ಹಾಗೆಯೇ ಉಳಿಯುತ್ತದೆ (ಏಕೆಂದರೆ, β–ಕಣದ ತೂಕವು ಅತ್ಯಲ್ಪ). ಆದರೆ, ಅದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಋಣವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಹೊಸ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯು 1 ಮಾನದಿಂದ ಏರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಇದರ ಸ್ಥಾನವು ಮೂಲವಸ್ತುವಿಗಿಂತ ಒಂದು ಸ್ಥಾನ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಪಲ್ಲಟವಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

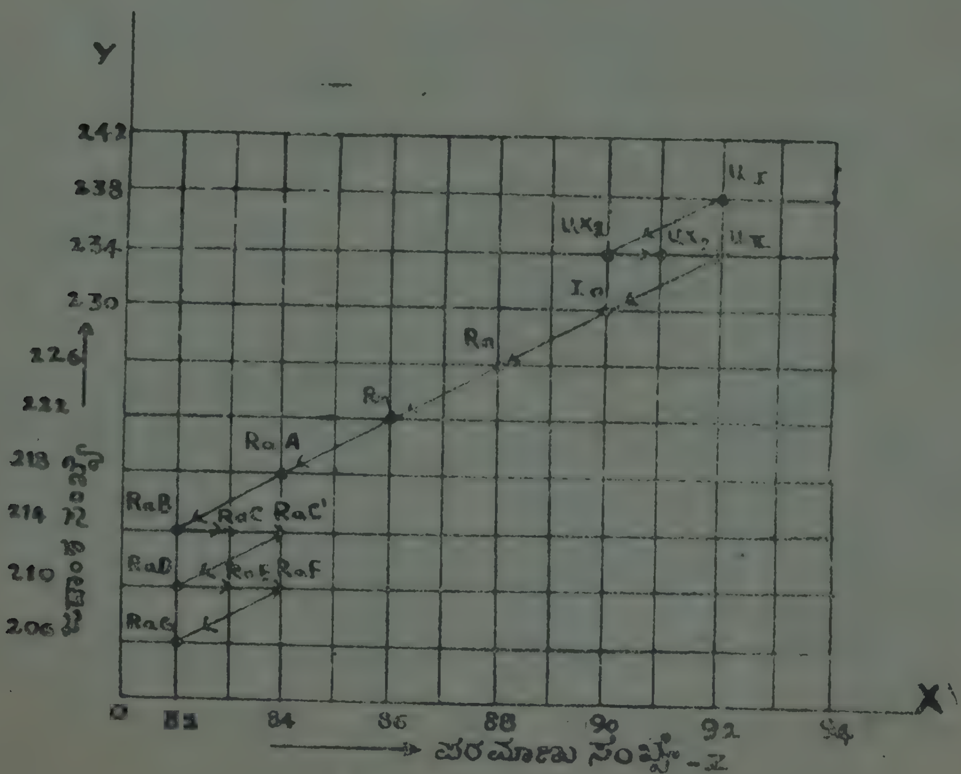
$$X^{A}_{z} \xrightarrow[\beta]{} Y^{A}_{z+1} \tag{2.7}$$

ಈ ನಿಯಮಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ಶ್ರೇಣಿ (series) ಗಳನ್ನಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದು. ಈ ಶ್ರೇಣಿಗಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಯುರೇನಿಯಂ, ಥೋರಿಯಂ ಮತ್ತು ಆಕ್ಟಿನಿಯಂ (U, Th, Ac) ಗಳಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದೇ ಹೆಸರುಗಳನ್ನೇ ಆ ಶ್ರೇಣಿಗಳಿಗೂ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ. ಈ ಶ್ರೇಣಿಗಳಿಗೆ ಕೆಲವು ಸಾಮಾನ್ಯ ಹೋಲಿಕೆಗಳಿವೆ. ಈ ಮೂರು ಶ್ರೇಣಿಗಳ ಕೊನೆಯ ಧಾತುಗಳು ಸುಭದ್ರವಾಗಿದ್ದು ಒಂದೇ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ (Z=82) ಸೀಸದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಸಾಧಾರಣ ಸೀಸ($Pb^{207.2}$)ದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು Pb^{206}, Pb^{207}, Pb^{208} ಗಳಾಗಿ ಇದೇ ರಚನೆಯ ಅಂತಿಮ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೇ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಈ ಮೂರು ಶ್ರೇಣಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಮಧ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ 86 ಆಗಿದ್ದು, He, Ne.............. ಗುಂಪಿನ ಅಪೂರ್ವ ಅನಿಲಗಳಂತೆ ಜಡವಸ್ತುಗಳ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ರೇಡಾನ್, ಥೊರಾನ್ ಮತ್ತು ಆಕ್ಟಿನಾನ್ (Rn, Tn, An) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 2.7

ಚಿತ್ರ 2.7 ರಲ್ಲಿ ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ಶ್ರೇಣಿಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಧಾತುಗಳ ವಿಷಯಗಳೆಲ್ಲವೂ ವಿಶದವಾಗುತ್ತವೆ. ಚಿತ್ರ 2.8 ರಲ್ಲಿ ಇದೇ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಪುನರಾವರ್ತನ ಪಟ್ಟಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ನಿದರ್ಶಿಸಲಾಗಿದೆ. α–ಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಸರ್ಜನದಿಂದ ಎರಡು ಸ್ಥಾನಗಳ ಹಿಂದಕ್ಕೆ ಸರಿಯುವಿಕೆಯೂ, β–ಕಿರಣದಿಂದ ಒಂದು ಸ್ಥಾನ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಪಲ್ಲಟವಾಗುವುದೂ ಎದ್ದು ಕಾಣುತ್ತವೆ.



ಚಿತ್ರ 2.8

ಮೂರು ಶ್ರೇಣಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಸಮಾನಾಂಶಗಳು ಕಾಣುತ್ತವೆ. RaC, ThC ಮತ್ತು AcC ವಸ್ತುಗಳ ವಿಕಿರಣದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಶಾಖೆಗಳಿದ್ದು, α ಮತ್ತು β–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎರಡು ವಸ್ತುಗಳೂ [RaC′, ThC′, AcC′] ಮತ್ತೆ ಕ್ರಮವಾಗಿ β, α ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವುದರಿಂದ ಒಂದೇ ವಸ್ತು [RaD, ThD, AcD] ವು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಗಳು 82 ಆಗಿದ್ದು ಸುಭದ್ರ ಸೀಸದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ಈಗ ಯುರೇನಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿಯನ್ನೇ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ ಕೆಲವು ಅಂಶಗಳು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತವೆ. $_{92}U\,I^{238}$ ಮತ್ತು $_{92}U\,II^{234}$ ಗಳಿಗೆ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ (92) ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು, ಪರಮಾಣುತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ಅವುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ (92) ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಭೇದವಿರುತ್ತದೆ. UI ರಲ್ಲಿ 146 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, U II ರಲ್ಲಿ 142 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇವೆ. ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (isotopes) ಗಳೆಂದು ಹೆಸರಾಗಿದೆ. $_{90}UX_1^{234}$, $_{91}UZ,^{234}$ $_{91}UX_2^{234}$ ಮತ್ತು $_{92}U\,II^{234}$ ಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಇವುಗಳಿಗೆ ತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು (234) ಸಮಾನವಾಗಿದ್ದು ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಭೇದಗಳಿದ್ದು ಅವುಗಳು 90, 91 ಮತ್ತು 92 ಗಳಾಗಿವೆ. ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಮತೂಕ ವಸ್ತುಗಳು (isobars) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಹೀಗೆಯೇ $_{92}U\,X_1^{234}$ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ β–ಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಸರ್ಜನವಾದರೆ, $_{91}UZ^{234}$ ಮತ್ತು $_{91}U\,X_2^{234}$ ಎಂಬ ಎರಡು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಲಕ್ಷಣಗಳುಳ್ಳ ವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗಿರುವ ಎರಡು ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಗಳು (91) ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು, ತೂಕಗಳಲ್ಲಿಯೂ (234) ಯಾವ ಭೇದವೂ ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಐಸೊಮರ್ (isomers) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ.

ಈ ಮೂರು ಶ್ರೇಣಿಗಳೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದ ಪೂರ್ವಭಾಗದಲ್ಲಿಯೇ ಇರುವ $_{19}K^{40}$ (ಪೊಟಾಸಿಯಂ) ನಿಂದ β ಮತ್ತು γ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಡುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಹೀಗೆಯೇ $_{37}Rb^{87}$, $_{62}Sm^{147}$, $_{71}Lu^{176}$ ಮತ್ತು $_{75}Re^{187}$ ಗಳಲ್ಲಿಯೂ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯು ಇರುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಹಗುರವಾದ K^{40} ವಸ್ತುವಿನ ಕ್ರಿಯೆಯು ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

ಇವುಗಳೆಲ್ಲ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಾದರೆ, ಇತ್ತೀಚಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕೃತಕವಾಗಿ ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿಯೂ

ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ಮುಂದೆ ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಲಾಗುವುದು.

2.7 ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಸ್ತುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲ, ಸರಾಸರಿ ಆಯುಸ್ಸು ಮತ್ತು ಕ್ಷಯನಿಯತಾಂಕ

ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಒಳಪಟ್ಟ ವಸ್ತುಗಳ ಕ್ಷಯ (ಅಥವಾ **ಅಳಿವು**) ಒಂದು ನಿಯಮದ (exponential law) ಪ್ರಕಾರ ನಡೆಯುವುದಾಗಿ ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ. ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿ ಸಾಗುತ್ತಿರುವ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಸಮಯ (instant of time) ವನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಆಗ ಮೂಲವಸ್ತು (A) ವಿನಲ್ಲಿ N ಪರಮಾಣುಗಳಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯಹೊಂದುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯ ದರವು (rate of decay) N ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, 't' ವೇಳೆಯಲ್ಲಿ N ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯಿಸುವ ದರವು –

$$\lambda - \frac{dN_t}{dt} = \lambda N_t. \qquad (2.8)$$

ಎಂದು ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಇಲ್ಲಿ λ = ಕ್ಷಯನಿಯತಾಂಕ (decay constant). ಈ ದರವು ಯಾವ ಭೌತ ಬದಲಾವಣೆಗಳಿಂದಲೂ ವ್ಯತ್ಯಸ್ತವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಈ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ರೂಢಿಸಿದರೆ, ಸಂಕಲನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ (integrating),

$$\int \frac{dN}{dt}t = -\lambda \int dt$$

$$\log_e N_t = \lambda t + C$$

$t = 0$, ಆರಂಭಕಾಲದಲ್ಲಿ, $N = N_0$ ಆದರೆ, $C = \log_e N_0$

$$\because \quad \log_e N_t = \lambda t + \log_e N_0$$

$$\log_e \frac{Nt}{N_0} = -\lambda t$$

$$N_t = N_0 \ \varepsilon^{-\lambda t} \qquad (2.9)$$

ಇದೇ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಸೂತ್ರವಾಗಿ, ಇದರಿಂದ, ವಸ್ತುಗಳ ಜೀವಿತಕಾಲಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಬಹುದು.

ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳ ಕ್ಷಯದ ದರವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಲು, ನಾವು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲ ಅಥವಾ ಆವರ್ತಕಾಲ (T) ವನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತೇವೆ ಅಂದರೆ, T ಕಾಲದಲ್ಲಿ N ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ $\frac{N_0}{2}$ = ಕ್ಷಯ ಹೊಂದಿ $\frac{N_0}{2}$ ಮಾತ್ರ ಉಳಿಯುತ್ತವೆ.

$$\therefore \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot \varepsilon^{-\lambda T}$$

$$\therefore T = \frac{\log_e 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (2.10)$$

ರೇಡಿಯಂಗೆ T = 1590 ವರ್ಷಗಳು, ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ Rn ಗೆ T = 3.8 ದಿವಸಗಳು ಮಾತ್ರ. T ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ $\frac{N_0}{2}$ ಇದ್ದರೆ 2T ಯಲ್ಲಿ $\frac{N_0}{4}$, 3T ಯಲ್ಲಿ $\frac{N_0}{8}$ ಗಳು ಮಾತ್ರ ಉಳಿಯುತ್ತವೆಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ dt ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯವಾಗುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು d N t ಎಂದು ಹೇಳುವುದು ಒಂದು ಸಂಭವನೀಯತೆಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಎಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಈ ಕ್ಷಯದ ದರಗಳಲ್ಲಿರುವ ಅಪಾರವಾದ ವೈವಿಧ್ಯವನ್ನು ಅರಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಆ ವಸ್ತುಗಳ ಪೂರ್ವಚರಿತ್ರೆಯನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾಗುವುದು. ಆದರೂ, ಸಂಖ್ಯಾಶಾಸ್ತ್ರದ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು (statistics) ಅನುಸರಿಸಿದರೆ, ಒಂದೊಂದು ವಸ್ತುವಿಗೂ ಸರಾಸರಿ ಜೀವಮಾನಕಾಲದ ಪ್ರಮಾಣ (mean life) ವನ್ನು ಗೊತ್ತು ಮಾಡಬಹುದು. ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಒಟ್ಟು ಜೀವಿತಕಾಲವನ್ನು ಒಟ್ಟು ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯಿಂದ ಭಾಗಿಸಿದರೆ, ಬರುವ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನೇ ಸರಾಸರಿ ಜೀವಿತಕಾಲವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಇದನ್ನು τ ಎಂದು ತಿಳಿಸಿದರೆ,

τ = ಸರಾಸರಿ ಆಯುಸ್ಸು

$$= \frac{\int_0^\infty t.dN_t}{N_0} = \frac{\int_0^\infty t.\lambda.N_t.dt}{N_0}$$

ಇದನ್ನು ಸರಿಯಾಗಿ ಕಲನ ಮಾಡಿ ರೂಢಿಸಿದರೆ, $\tau = \frac{1}{\lambda}$ ಆಗುತ್ತದೆ. (2.11)

ಅಂದರೆ, ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲವು T ಆದರೆ, $T = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693\tau$ (2.12)

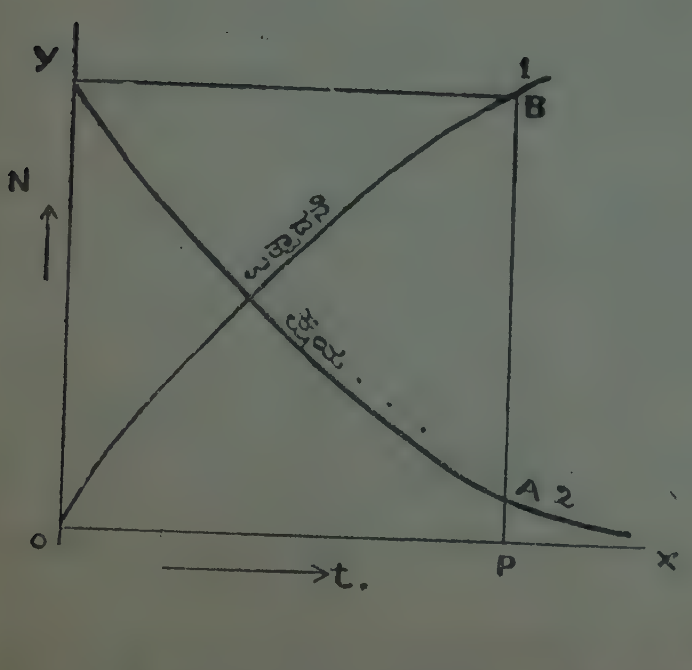
ರೇಡಿಯಂಗೆ T = 1590 ವರ್ಷ $\therefore \tau = \frac{1590}{0.693} = 2300$ ವರ್ಷಗಳು

ರೇಡಾನ್(Rn) ಗೆ T = 3.8 ದಿವಸಗಳು. $\tau = \frac{3.8}{0{\cdot}693} \doteq 5.5$ ದಿವಸಗಳು.

ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಒಳಪಟ್ಟಿರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಶ್ರೇಣಿಗಳ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿಯೂ ನಿರಂತರವಾಗಿ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಗಳು ಆಗುತ್ತಿರುವುದರಿಂದಲೂ, ಒಂದೊಂದು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ ವಸ್ತುವಿಗೂ ತನ್ನದೇ ಆದ ಆವರ್ತ ಅಥವಾ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲ ವಿರುವುದರಿಂದಲೂ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ತಾತ್ಕಾಲಿಕವಾಗಿ ಒಂದು ಮೂಲ ವಸ್ತು (ತಾಯಿ) ವಿಗೂ ಅದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತು (ಮಗಳು) ವಿಗೂ ಸಮಸ್ಥಿತಿಯು ಏರ್ಪಡುವ ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಮಸ್ಥಿತಿಯು ತಾಯಿ ವಸ್ತುವಿನ ಸರಾಸರಿ ಆಯುಸ್ಸು ಮಗಳು ವಸ್ತುವಿನ ಆಯುಸ್ಸಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು. ತಾಯಿಯ ಆಯುಸ್ಸು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದರೆ, ಸ್ವಲ್ಪ ಕಾಲಾನಂತರ, ಮಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಒಂದು ಉಚ್ಚಮಿತಿಯನ್ನು ಮುಟ್ಟಿದ ನಂತರ, ತಾಯಿಯ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ, ಮಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಒಂದು ನಿಯತ ಅನುಪಾತ (ratio) ವಿರುತ್ತದೆ. N_1 ಮತ್ತು N_2 ಗಳು ತಾಯಿ ಮತ್ತು ಮಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ, τ_1 ಮತ್ತು τ_2 ಗಳು ಅವುಗಳ ಸರಾಸರಿ ಆಯುಃಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಆದರೆ,

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad \text{ಆಗುತ್ತದೆ.} \qquad (2.13)$$

ಇದಕ್ಕೆ ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ, ರೇಡಿಯಂ (ತಾಯಿ) ರೇಡಾನ್ (ಮಗಳು) ಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, $\tau_1 = 2300$ ವರ್ಷಗಳು, $\tau_2 = 5.5$ ದಿವಸಗಳು.



2.9 ರೇಡಾನ್‌ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ಷಯ ಮತ್ತು ಉತ್ಪಾದನೆಯ ನಕ್ಷೆಗಳು.

ರೇಡಾನ್‌ನ ಆಯುಸ್ಸು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರುವುದರಿಂದ(5·5ದಿನಗಳು) ಬಹಳ ಕಾಲವಾದ ಮೇಲೆ, ಇದು ತನ್ನ ತಾಯಿಯಾದ ರೇಡಿಯಂನೊಂದಿಗೆ ಸಮಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಏಕೆಂದರೆ, ಚಿತ್ರ 2.9 ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ OP = t ಆದರೆ, ಆಗ, ರೇಡಾನ್ ಪರಮಾಣುಗಳ ಒಟ್ಟು ಮೊತ್ತವು (PA + PB) ಆಗಿ, ಇದರ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗದೆ ಇರುತ್ತದೆ.

ಇದೇ ರೀತಿಯಾದ ಸಮಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಯುರೇನಿಯಂ ಮೂಲವಸ್ತುವಿಗೂ ಆ ಶ್ರೇಣಿಯಲ್ಲಿರುವ ಇತರ ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ಯುರೇನಿಯಂನ ಆವರ್ತಕಾಲವು (T) 4.5×10^9 ವರ್ಷಗಳಾಗಿದ್ದು ಇದು ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ಉತ್ಪನ್ನಗಳಿಗಿಂತ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಹತ್ತಾರುಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿಯನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಒಂದು ಸಮಸ್ಥಿತಿಯು ಏರ್ಪಟ್ಟು ಒಂದೊಂದು ಉತ್ಪನ್ನದ ಪ್ರಮಾಣವೂ ಅದರ ಆಯುಃಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ತತ್ತ್ವವು ಅತಿ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವಾಗಿದ್ದು, ಇದರಿಂದ ಭೂಮಿಯ ಆಯುಸ್ಸನ್ನು ಅಂದಾಜುಮಾಡಲು ಒಂದು ಪ್ರಯೋಗವು ಸಿಕ್ಕಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಮಾನ : ಒಂದು ನಿಗದಿಯಾದ ಕಾಲದ ಏಕಮಾನದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ಪರಮಾಣುಗಳು ಕ್ಷಯವಾಗುತ್ತವೆ ಎಂಬುದು ಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ ಒಂದು ಕ್ಯೂರಿ (curie) ಯನ್ನು ಏಕಮಾನ (unit) ವನ್ನಾಗಿ ಇಡಲಾಗಿದೆ. ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ರೇಡಿಯಂನಲ್ಲಿ 3.71×10^{10} ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯಿಸಿದರೆ, ಆ ಶಕ್ತಿಗೆ ಒಂದು ಕ್ಯೂರಿ ಎಂದು ಹೆಸರು. ಇದರ $\frac{1}{1000}$ ಭಾಗವು ಒಂದು ಮಿಲ್ಲಿಕ್ಯೂರಿ (milli-cure) ಯು ಸಾಧಾರಣ ಉಪಯೋಗದಲ್ಲಿದೆ. ಯುರೇನಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿಗೆ

ಬೀಜಾಂಶ		(T)	ಶಕ್ತಿ (ವಿಕಿರಣ)	
ವಸ್ತು	ಸಂಕೇತ	ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲ	ಮಾದರಿ	ಉಚ್ಚಮಿತಿ (MeV)
U_1	$_{92}U^{238}$	4.5×10^9 ವರ್ಷ	α	4.2
UX_1	$_{90}Th^{238}$	24.1 ದಿವಸ	β	0.2
UX_2	$_{91}Pa^{234}$	1.2 ನಿಮಿಷ	β	2.3
UII	$_{92}U^{234}$	2.5×10^5 ವರ್ಷ	α	476
Ra	$_{88}Ra^{226}$	1622 ವರ್ಷ	α	4.78
Rn	$_{86}Em^{222}$	3.82 ದಿವಸ	α	5.49
RaA	$_{84}Po^{218}$	3 ನಿಮಿಷ	αr	
RaC′	$_{84}Po^{214}$			5.99
RaF	$_{84}Po^{21}$	1.6×10^{-4} ಸೆಕೆಂಡ್	α	7.68
RaG	$_{82}Pb^{206}$	138 ದಿವಸ	α	5.298
		ಸುಭದ್ರ		

ಚಿತ್ರ 2.10. ಯುರೇನಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿಯ ವಸ್ತುಗಳ ಜೀವಿತಕಾಲಗಳು ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಶಕ್ತಿ

ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿವಿಧ ಉತ್ಪನ್ನಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ಅಪಾರವಾದ ವೈವಿಧ್ಯವಿದೆ ಎಂಬುದು ಹಿಂದಿನ ಪುಟದ ಪಟ್ಟಿಯಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಮೂಲವಸ್ತು UI ಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಹೆಚ್ಚಾದ ಜೀವಮಾನ ಕಾಲ ಅಂದರೆ 450 ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳಾಗಿಯೂ, ಅಂತಿಮ ವಸ್ತುವು ಸೀಸಕ್ಕೆ ಸಮಾನ ವಾಗಿದ್ದು ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, ನಡುವಣ ಉತ್ಪನ್ನಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವಕ್ಕೆ ಕೇವಲ ಹಲವು ನಿಮಿಷಗಳೂ, ದಿವಸಗಳೂ ಇದ್ದು, ಪೊಲೋನಿಯಂ $_{84}Po^{214}$ ಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಅಲ್ಪ ಆಯುಸ್ಸು $\frac{1.6}{10,000}$ ಸೆಕೆಂಡುಗಳಾಗಿರುವುದು ಕಾಣುತ್ತದೆ.

ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ನಾಲ್ಕನೇ ಶ್ರೇಣಿಯು ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿಯಾಗಿದ್ದು ಅದರ ವಸ್ತುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಕೃತಕಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಅವನ್ನು ಇಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿಲ್ಲ.

2.8 ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಯೋಜನಗಳು :

ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಅವಲೋಕಿಸಿದರೆ, ಈ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಇವುಗಳ ಆಧಾರದಿಂದಲೇ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಜ್ಞಾನವೃದ್ಧಿಯು ಅಪಾರವಾಗಿ ಬೆಳೆದಿದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α– β–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಎಷ್ಟು ಭಾರಿ ಪ್ರಮಾಣದ್ದಾಗಿರುತ್ತದೆಂದು ಗೊತ್ತಾದಮೇಲೆ, ಇವುಗಳಿಗೆ ಮೂಲಸ್ಥಾನವಾದ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಕೇಂದ್ರೀಕೃತ ವಾಗಿರಬೇಕೆಂಬುದು ತಿಳಿಯುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳಿಂದ ಅದರ ಸುಭದ್ರಸ್ಥಿತಿ ಅಥವಾ ಅಭದ್ರ ರಚನೆಗೆ ಕಾರಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯ ಬಹುದು. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ವಿಧಾನಗಳ ವೀಕ್ಷಣೆಯಿಂದ ಎಲ್ಲ ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಕೂಡ, ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆ ಮತ್ತು ಕೃತಕ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿ (artificial transmutation and artificial radioactivity) ಯನ್ನು ಕೂಡ ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡುವ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳು ಅತ್ಯಂತ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿವೆ. ಇದರಿಂದ ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೂ ನಾಗರಿಕತೆಯ ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನೂ ರೂಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗುವುದು.

ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪ್ರಮುಖವಾಗಿರುವ ಉಪಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಈಗ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

(i) **ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಕಾಲನಿರ್ಣಯ** (radioactive dating) : ಪ್ರಪಂಚದ ಆಯುಸ್ಸು ಮತ್ತು ಶಿಲೋತ್ಪನ್ನಗಳ (rocks) ವಯಸ್ಸನ್ನೂ

ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನ ಎರಡು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾದ U^{235} ಮತ್ತು U^{238} ಗಳು ಇರುವ ಪ್ರಮಾಣವು 1 : 140 ಆಗಿದೆ. U^{235} ಗೆ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲವು 7×10^8 ವರ್ಷಗಳು. U^{238} ವಸ್ತುವಿಗೆ ಇದು 4.5×10^9 ವರ್ಷಗಳು. ಆದಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಎರಡು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೂ ಒಂದೇ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದುವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಈಗಿನ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯುಂಟಾಗಿರಲು ಬೇಕಾಗಿರುವ ಕಾಲವು 500 ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳೆಂದು ಅಂದಾಜುಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಇದು ಖಗೋಳಶಾಸ್ತ್ರದ ಆಧಾರದಿಂದ ಗೊತ್ತಾದ ಅಂದಾಜಿಗೆ ಹೋಲುವಂತಿದೆ. ಈಗ ಯುರೇನಿಯಂ ಖನಿಜದಲ್ಲಿರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಿ, ಅದರಲ್ಲಿ U^{238} ಗೂ, ಹೀಲಿಯಂ (He) ಗೂ ಇರುವ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಮೂಲಕವೂ, ಸೀಸದ ವಸ್ತುವಿನ ಪ್ರಮಾಣದ ಮೂಲಕವೂ, ಭೂಮಿಯ ವಯಸ್ಸನ್ನು ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲು ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ನಡೆದಿವೆ. ಇವುಗಳಿಂದಲೂ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಆಯುಸ್ಸೇ ಇರಬಹುದೆಂದು ಊಹಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ.

(ii) **ಶಿಲೋತ್ಪನ್ನಗಳ ಆಯುಸ್ಸು** : ಈ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಈ ಶಿಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಇರುವ ಖನಿಜವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಸೀಸದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಗೂ, ಸಾಮಾನ್ಯ ಸೀಸದ ಶಿಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಗೂ ಹೋಲಿಕೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಶಿಲೆಗಳ ಆಯುಸ್ಸನ್ನು ಊಹಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಧಾನದಿಂದ U^{238} ರಲ್ಲಿ ಇರುವ Pb^{206} ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟರೆ, ಆ ಶಿಲೆಯ ಆಯುಸ್ಸು 26 ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳೆಂದೂ, U^{235} ರಲ್ಲಿರುವ Pb^{207} ಪ್ರಮಾಣದಿಂದ 25 ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳೆಂದೂ ಅಂದಾಜುಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಈ ಕಾಲ ನಿರ್ಣಯವು ಸಾಧ್ಯವಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಗಡಿಯಾರಗಳು (radioactive clocks) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

(iii) **ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ಸೂಚಕಗಳು** (radioactive tracers): **ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ಶ್ರೇಣಿಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಉತ್ಪನ್ನಗಳು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. Ra B, Ra D, Th B ಮತ್ತು AcB ಗಳು ಸೀಸ(Pb) ಕ್ಕೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. RaC, Th C ಗಳು ಬಿಸ್ಮತ್ (Bi) ನೊಂದಿಗೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾಗಿ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ.** ಈ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ನಾವು RaD ಯನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಆದರೂ, ಸೀಸದೊಂದಿಗೆ ಬೆರೆಸಿ ಈ ಮಿಶ್ರಣವನ್ನು ಸೀಸದ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನು ಪತ್ತೆಮಾಡಲು ಸಹಕಾರಿ (tracer) ಯಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಯಾವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೂ ಅವುಗಳನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸಲು

ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲದ್ದರಿಂದ, ಸೀಸವು ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿರುವುದನ್ನು ಈ ವಿಕಿರಣ ನಿರ್ದೇಶನ ಮಾರ್ಗವೊಂದೇ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಹೀಗೆಯೇ, ವೈದ್ಯಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ಈ ವಿಕಿರಣ ನಿರ್ದೇಶಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿಯೂ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿಯೂ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ. RaE ಯನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಕವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ದೇಹದ ಅಂಗವ್ಯವಸ್ಥೆ (organism) ಯಲ್ಲಿ ಬಿಸ್ಮತ್ (Bi) ವಸ್ತುವನ್ನು ಉಳಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಪ್ರಮಾಣದ ವಿಷಯವನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುವ ಮಾರ್ಗವು ಗೊತ್ತಾದಮೇಲಂತೂ, ಈ ನಿರ್ದೇಶಕ ವಿಧಾನವು ವೈದ್ಯಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ಜೈವಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಬಹಳ ಪ್ರಮುಖವಾದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸುತ್ತಿದೆ. ಇದನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಇನ್ನೂ ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಲಾಗುವುದು.

(iv) **ರೇಡಿಯಂ ರೋಗ ನಿವಾರಣ ವಿಧಾನ :** ಹಲವಾರು ಚರ್ಮ ಸಂಬಂಧವಾದ ರೋಗಗಳಿಗೂ, ಹಲವು ಆಂತರಿಕ ವ್ರಣಸಂಬಂಧವಾದ ತೊಂದರೆಗಳಿಗೂ, ರೇಡಿಯಂನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗವು ಅತ್ಯುಪಯುಕ್ತವಾದ ಚಿಕಿತ್ಸೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಇದರ ವೆಚ್ಚವು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದರಿಂದ ಇತ್ತೀಚಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಇದಕ್ಕಿಂತಲೂ, ಅತಿ ಸುಲಭವಾಗಿಯೂ ಹೇರಳವಾಗಿಯೂ ದೊರಕುವ ಕೋಬಾಲ್ಟ್ 60 (Co^{60}) ಮುಂತಾದ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಬಹಳ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿವೆ.

ಇವುಗಳನ್ನು ಅವಲೋಕಿಸಿದರೆ, ಪ್ರಕೃತಿಯ ವೈಚಿತ್ರ್ಯದಲ್ಲಿ ಈ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಭೂಗರ್ಭದ ಶಿಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಹರಡಿಕೊಂಡು, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯ ವ್ಯಾಪಕತ್ವವು ಕೋಟ್ಯಾಂತರ ವರ್ಷಗಳಾದರೂ ಉಳಿದಿದ್ದು, ಮಾನವನು ಉದಯಿಸಿ ಅವನ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಇವುಗಳ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಅಧ್ಯಯನಮಾಡಿ, ಈಗ ನಮಗೆ ತಿಳಿದುಬಂದಿರುವ ಅಪಾರವಾದ ಬೌದ್ಧಿಕ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಜ್ಞಾನವು ಲಭಿಸಿರುವುದು ಒಂದು ಭಾಗ್ಯವೆಂದೇ ಎಣಿಸಿದರೆ ತಪ್ಪಾಗಲಾರದು.

2.9 ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆ

ಇದುವರೆಗೂ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಸ್ವರೂಪ ಮತ್ತು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಂದ ನಮಗೆ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ವಿಚಾರದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟರಮಟ್ಟಿನ ತಿಳಿವಳಿಕೆ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ಈಗ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚು ತೂಕವಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಇರುವ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಬಲ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳ ಸ್ವರೂಪದ ಸಮಸ್ಯೆಯು ಬಹಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದುದು. ಈಗ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಎರಡೇ ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳಿವೆ. ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮಾದರಿ; ಮತ್ತೊಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮಾದರಿ. ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೆ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ತೂಕಮಾನ; ಇದಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾದ ತೂಕವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಿದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿಯೂ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೆ ಒಂದು ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಮಾನವೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಇವೆರಡು ಕಣಗಳಿಗೂ ಭ್ರಮಣವಿದ್ದು ಅದರ ಮಾನವು $\frac{1}{2}$ ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ ನಮಗೆ ಒಂದು ಅಂಶವು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಲಿಯಂನಲ್ಲಿ ಇರುವ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ 2 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು 2 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಇರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ ಇವುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಸಮನಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲಿಂದ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ (Ca) ವರೆಗೆ ಇದೇ ರೀತಿಯ ರಚನೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಇದಾದ ಮೇಲೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಕ್ರಮೇಣ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತ ಹೋಗಿ, ಅದರ ಶೇಕಡ ಮೌಲ್ಯವು ಬೇರಿಯಂನಲ್ಲಿ 59 ಆಗಿ ಯುರೇನಿಯಂ (U) ನಲ್ಲಿ 61ಕ್ಕೆ ಏರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನೇ ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ ಒಂದು ಸಾಮಾನ್ಯ ಲಕ್ಷಣದ ಪ್ರಕಾರ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗಿಂತ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದಲೇ, ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಅಸ್ಥಿರತೆಗೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ 92 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ 146 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಪ್ರದೇಶದ ವ್ಯಾಸವು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ.ಗೆ ಸಮೀಪವರ್ತಿಯಾಗಿರುವುದೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಇಷ್ಟು ಸಣ್ಣ ಗಾತ್ರದ ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿಕೊಂಡಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ವಿಶೇಷರೀತಿಯ ವಿನಿಮಯ ಬಲಗಳು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಕೂಲೋಂಬ್ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ಇರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸಬಹುದಾದ ಅಪಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳನ್ನು ಎದುರಿಸುವಂತೆ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳಿಲ್ಲದಿದ್ದರೆ ಅವುಗಳು ಅಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಈ ಬೀಜಾಂಶದ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರಕೂಪ (well inside a potential barrier)ದ ಕಲ್ಪನೆಯ ಆವಶ್ಯಕತೆಯು ಕಂಡುಬಂದಿದೆ.

ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ಈ ಹಿನ್ನೆಲೆಯನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟರೂ, ನಮಗೆ, α, β ಮತ್ತು γ–ಕಣಗಳು ಹೇಗೆ ಉತ್ಸರ್ಜನ ಹೊಂದಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂಬುದನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ ಹಲವಾರು ತೊಡಕುಗಳು ಉದ್ಭವಿಸುತ್ತವೆ.

ಈಗ α–ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಇವುಗಳು ಬೀಜಾಂಶದ ಒಳಗಡೆ ಇರುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗೂ, ಹೊರಬಿದ್ದಮೇಲೆ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗೂ ಸಮನ್ವಯ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಥೋರಿಯಂ ಪರಮಾಣುವನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರಿಂದ ಒಂದು α–ಕಣವು ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು 26 MeV ಗಳಷ್ಟಾದರೂ ಇರಬೇಕೆಂದು ನಂಬಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 4.2 MeV ಮಾತ್ರ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಪರಿಹರಿಸಲು, ಗ್ಯಾಮೋ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ತರಂಗಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಸಮರ್ಥಿಸಿದನು. ಅವನ ಪ್ರಕಾರ, ತರಂಗಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ, ಒಂದು ಶಕ್ತಿಪ್ರದೇಶದಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಶಕ್ತಿಪ್ರದೇಶಕ್ಕೆ ಚಲಿಸುವಾಗ, ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಏನು ಪ್ರತಿಬಂಧಕವಿದ್ದರೂ, ಒಂದು ಕಣದ ಚಲನೆಗೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಆ ಪ್ರತಿಬಂಧಕದ ಅಂತರದ ಮಟ್ಟವು ಏನೇ ಇರಲಿ, ಅದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು ಅದನ್ನು ದಾಟುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಇದ್ದೇ ಇರಬೇಕು. ಇದು ಕಣಕ್ಕೆ ಅಲೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅನ್ವಯಮಾಡುವ ತತ್ತ್ವದಿಂದ ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಬೀಜಾಂಶದ ಒಳಗೆ α–ಕಣಗಳ ರಚನೆಯು ಬಿಡಿ ಬಿಡಿಯಾಗಿ (2 ಪ್ರೋಟಾನ್ + 2 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್) ಇರಲು ಸಾಧ್ಯತೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಅವುಗಳು ಚಲನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವಾಗ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. α–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಈ ಮಟ್ಟಗಳು ಒಂದು ಸ್ಥಿತಿಯಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಸ್ಥಿತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ.

ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳೇ ಇಲ್ಲದಿರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಂದ β–ಕಿರಣಗಳು ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಹೊಂದಿ ಹೊರಬೀಳಲು ಹೇಗೆ ಸಾಧ್ಯವೆಂಬುದು ಒಂದು ನಿಜವಾದ ತೊಡಕೇ ಆಯಿತು. ಇದನ್ನು ಪರಿಹಾರಮಾಡಲು ಒಂದು ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಯೇ ಬೇಕಾಗಿ ಅದಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯೂ ಈಗ ದೊರೆತಿದೆ. ಈ β – ಕ್ಷಯ (β decay) ವಿಧಾನದ ಪ್ರಕಾರ, ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಹೊಂದಿದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೇ ಆಗಲಿ, ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಹೊಂದಿರುವ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳೇ ಆಗಲಿ ಹೊರಬೀಳಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿ ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುವ ಕಾಲಾವಕಾಶವು 15 ನಿಮಿಷಗಳು ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು

ಕ್ಷಯಿಸುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್, ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಒಂದು ಆಂಟಿ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋಗಳು ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತವೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ → ಪ್ರೋಟಾನ್ + ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ + ಆಂಟಿನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ
(ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾದರಿ)

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \qquad (2.14)$$

ಇಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿರುವ ಕಣದ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನು ಮೊದಲು ಪೌಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕಲ್ಪಿಸಿದನು. ಇದಕ್ಕೆ ತೂಕವಿಲ್ಲ, ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ ಇಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಇಂಥ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿ, ಆವೇಗ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ನಿತ್ಯತೆಯ ನಿಯಮವನ್ನು ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ, ಭ್ರಮಣಾಂಶದ ನಿತ್ಯತೆಯನ್ನೂ ಸಹ ಗಮನಿಸುವ ಆವಶ್ಯಕತೆಯ ಕಾರಣದಿಂದ ಇಂಥ ಒಂದು ಕಣವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಇತ್ತೀಚಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಕಣದ ಯಥಾರ್ಥತೆಯು ಖಚಿತವಾಗಿದೆ. ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಅಳಿವಿನಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ಜೊತೆಗೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್–ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ದ್ವಂದ್ವ (electron–neutrino) ವು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ, ಬೀಜಾಂಶದ ಪೂರ್ವಭಾವಿ ಮತ್ತು ಅಂತಿಮ ಶಕ್ತಿಗಳ ಮೊತ್ತ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಈ ಎರಡು ಕಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆ ಯಾಗುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಈ ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ β-ಪಟಲಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರೆತಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಈಗ γ- ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳು ಇರುವುದು ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಹಲವಾರು ಬೀಜಕಣಗಳು ತಮ್ಮದೇ ಆದ ಚಲನೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಉದ್ರಿಕ್ತ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ (excited-state) ಯುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಹೊರಗಣ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸ್ಥಾನವಿನ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಪರಮಾಣುವಿಗಿರುವಂತೆಯೇ, ಅದರ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೂ ಹಲವಾರು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳು ಇರುತ್ತವೆಂದು ಭಾವಿಸುವುದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಹೋಲಿಕೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಒಟ್ಟು ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೆಚ್ಚಿನ ಶಕ್ತಿಯ ಮಟ್ಟದಿಂದ ಇನ್ನೊಂದು ಕೆಳಗಿನ ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾದರೆ, ಇವುಗಳ ಅಂತರದ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಕಣಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೋ, ವಿಕಿರಣ (radiation) ದ ಮೂಲಕವೋ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಉದ್ರಿಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯೇ γ–ಕಿರಣಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಗಳಂತೆಯೇ, ಈ γ– ಕಿರಣಗಳ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಶ್ರೇಣಿಗಳ (series) ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದು. ಇದರಲ್ಲಿಯೂ, ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳ ನಡುವೆ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ

ನಿಯಮ (selection rules) ಗಳಿದ್ದು ಕೆಲವು ಪರಿವರ್ತನೆಗಳು ನಿಷಿದ್ಧವಾಗಿಯೂ ಇರುತ್ತವೆ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೂ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಕ್ವಾಂಟಂ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನೂ ಅದರ ನಿಯಮಗಳನ್ನೂ ಹೊಂದಿಸಬೇಕಾಗಿ ಬಂದಿದೆ. ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನೂ ಗಮನಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಬೀಜಾಂಶದ ಸ್ವರೂಪವು ಗೋಚರವಾಗುವುದು.

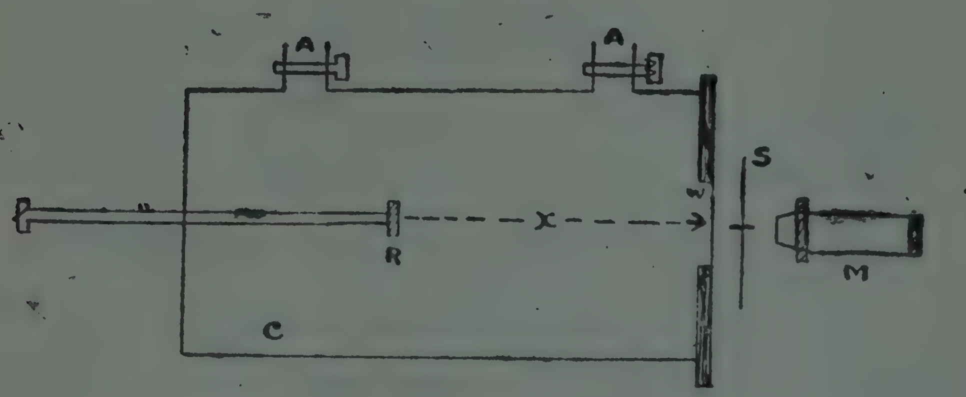
ಅಧ್ಯಾಯ 3

ಕಣವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳು ಮತ್ತು ನಿರ್ದೇಶಕ ಸಾಧನಗಳು

3.1 ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್‌ನ ಮೊದಲ ಪ್ರಯೋಗ

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿದ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಮನಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಕೃತಕ ವಿಧಾನಗಳ ಮೂಲಕ ಉಂಟುಮಾಡುವ ವಿಚಾರವು ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಲೇ ಇದ್ದಿತು. ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಆಂತರಿಕ ಅಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯ ಕಾರಣದಿಂದ ಕೆಲವು ಕಿರಣಗಳು ಹೊರ ಬಿದ್ದು ಹೊಸ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುತ್ತವೆಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಮೇಲೆ ಹಗುರ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳ ಮೇಲೆ ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸತಕ್ಕ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳು ಘರ್ಷಣವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳು ಉಂಟಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ಮನಗಂಡನು. ಈ ಕೃತಕ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಗುಣವೇನೆಂದರೆ, ಅದು ನಿಯಂತ್ರಿತವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ನಾವು ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ರೂಪಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಧ್ಯೇಯವನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸಾರಜನಕ, ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ, ರಂಜಕ ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದನು. ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರ ಬೀಳುವ ಅತಿ ವೇಗವ α–ಕಣಗಳನ್ನೇ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದನು. 1919 ರಲ್ಲಿ ಈ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ಸಫಲವಾಗಿ, ಕೃತಕ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಕನಸು ನನಸಾಯಿತು. ಇದರ ಕೀರ್ತಿಯು ರದರ್‌ಫರ್ಡ್‌ಗೆ ಸಲ್ಲಬೇಕಾದುದು ನ್ಯಾಯವೇ ಆಗಿದೆ. ಇದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಸಾಧನವಾದುದರಿಂದ ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿವರಗಳನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಅವನ ನಂತರ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳು ಚಿತ್ರ 3.1 ರಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿತವಾಗಿವೆ. C ಯು



ಚಿತ್ರ 3.1 ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗ

ಪರೀಕ್ಷಕ ಅನಿಲದಿಂದ ತುಂಬಬಹುದಾದ ಆವರಣದ ನಿಲಯ (gas-tight chamber). A A ನಾಳಿಕೆಗಳ ಮೂಲಕ, ಯಾವ ಅನಿಲವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸುತ್ತೇವೆಯೋ ಅದನ್ನು ಆವರಣದೊಳಗೆ ತುಂಬಬಹುದು. ಇದು ವೇಗವಾದ α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ RaC+C′ ವಸ್ತುವನ್ನು R ಒಳಗೊಂಡಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಹಿಂದಕ್ಕೂ ಮುಂದಕ್ಕೂ ನೂಕಲು ಅವಕಾಶವಿರುವಂತೆ ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಆವರಣದ ಒಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ ತೆರೆದಿಟ್ಟು ಅದನ್ನು W ಎಂಬ ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಬೆಳ್ಳಿಯ ಪದರ (silver foil) ದಿಂದ ಮುಚ್ಚಲಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರದಲ್ಲಿ S ಎಂಬ ಒಂದು ZnS ಸ್ಫುರಣವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಲೇಪಿಸಿದ ತೆರೆಯಿರುತ್ತದೆ. R ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α–ಕಿರಣಗಳು W ಕಿಟಕಿಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು S ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಸ್ಫುರಣಗಳು ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ – ಇವುಗಳನ್ನು ಬಿಡಿ ಬಿಡಿಯಾಗಿ ಎಣಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವಂತೆ M ಎಂಬ ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದಿಂದ ವೀಕ್ಷಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. W ಮತ್ತು S ಗಳ ನಡುವೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದಪ್ಪ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಗ್ರಾಹಕ ಪದರಗಳನ್ನು ಇಡಲೂ, R ಮತ್ತು W ಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರ (x) ವನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಲೂ ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. β–ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವವಿಲ್ಲದಂತೆ ಮಾಡಲು, ಇಡೀ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಒಂದು ಅಡ್ಡ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಇರುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಗಿತ್ತು.

ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ α–ಕಿರಣಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರ(range)ವು 7 ಸೆಂ.ಮೀ.ಗಳಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದರ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯು 8 MeV ಆಗುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ α–ಕಣಗಳು ಆವರಣದಲ್ಲಿರುವ ಅನಿಲದ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕು ಈ ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು S ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಉಂಟಾಗುವ ಸ್ಫುರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು.

ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ತುಂಬಿದಾಗ, R ಮತ್ತು W ಗಳ ನಡುವಣ ದೂರ (x) α–ಕಿರಣಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದಾಗ, ಸ್ಫುರಣಗಳು ಕಾಣಿಸಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಸಾರಜನಕವನ್ನು ತುಂಬಿದಾಗ, x = 40 ಸೆಂ.ಮೀ. ಆದಾಗಲೂ ಸ್ಫುರಣಗಳು ಕಾಣಿಸಿದುವು. α–ಕಿರಣಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರಕ್ಕಿಂತ ಇದು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ ಸ್ಫುರಣಗಳು α–ಕಿರಣಗಳಿಂದ ಇರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲ. ಬೇರಾವ ಹೊಸ ಕಿರಣಗಳು ಉದ್ಭವಿಸಿರಬಹುದು ಎಂಬುದು ಪ್ರಶ್ನೆಯಾಯಿತು. ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಬಾಗುವಿಕೆಯನ್ನು ಅಳೆಯುವುದರಿಂದ, ಈ ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಖಚಿತವಾಯಿತು. ಪರಮಾಣುವಿನ ಸಂಘರ್ಷಣೆಯಿಂದಲೇ ಈ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರಬೇಕೆಂದೂ, ಸಾರಜನಕದೊಂದಿಗೆ ಇರಬಹುದಾದ ಅಶುದ್ಧ ರೀತಿಯ ಜಲಜನಕವಲ್ಲವೆಂದೂ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಸಂಶಯ ನಿವಾರಣೆಗೆ ಎರಡು ಅಂಶಗಳು ಸಹಾಯಕವಾದುವು. ಸಾರಜನಕದೊಂದಿಗೆ ಜಲಜನಕವೂ ಸೇರಿಕೊಂಡಿದ್ದರೆ ಅದರ ಪರಮಾಣುಗಳೊಂದಿಗೆ α–ಕಣಗಳು ಘರ್ಷಣವಾದರೆ, ಅವುಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರವು 28 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರಬೇಕು. ಆದರೆ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಸ್ಫುರಣಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾದ ಕಣಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರವು 40 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳಾಗಿದ್ದಿತು. ಅದೂ ಇಲ್ಲದೆ ಈ ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಎಲ್ಲ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಏಕರೂಪವಾಗಿ ಪ್ರಸರಿಸಿದ್ದುವು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ α-ಕಿರಣಗಳು ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದ ಫಲದಿಂದಲೇ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವಂತಾಯಿತು ಎಂಬ ಅಂಶವು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಮತ್ತೊಂದು ಹೊಸ ಬೀಜಾಂಶವೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಅದು ಆಮ್ಲಜನಕದ ಒಂದು ಅಪೂರ್ವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯೆಂದೂ ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ಕೆಳಗಿನ ಸಂಕೇತಗಳ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಬರೆಯಬಹುದು.

$$_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1} \qquad (3.1)$$

ಸಾರಜನಕ + α–ಕಣ → ಆಮ್ಲಜನಕ + ಪ್ರೋಟಾನ್

ಮೊದಲನೆಯ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಇದು ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಮಾನವನ ಮೊದಲ ಸಾಹಸದ ಫಲ. ಇದರಿಂದ ಒಂದು ಹೊಸ ಅಧ್ಯಾಯವು ಭೌತ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಉದಯವಾಯಿತೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು – ಸಾರಜನಕದಿಂದ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ಪಡೆಯುವ ನವೀನ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗವಾಯಿತು

ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ಸಫಲತೆಯಿಂದ ಉತ್ತೇಜಿತನಾದ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ನೊಡಗೂಡಿ, ಇದೇ ವಿಧಾನವನ್ನೇ ಮುಂದುವರಿಸಿ ಬೋರಾನ್‌ನಿಂದ ಹಿಡಿದು ಪೊಟಾಸಿಯಂವರೆಗೆ ಹಲವು ಹಗುರ ಧಾತುಗಳೊಡನೆ α–ಕಣಗಳನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ

ಮಾಡಿಸಿ, ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿದರು. ಘನ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ಒಳಪಡಿಸುವಾಗ, ಅವುಗಳ ತೆಳುವು ಪದರಗಳನ್ನು W ಗೆ ಬದಲಾಗಿಟ್ಟು, α-ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ವಸ್ತು (R) ವನ್ನು ಅದಕ್ಕೆ ಬಹಳ ಹತ್ತಿರ ಇರುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಬೋರಾನ್, ರಂಜಕ ಮತ್ತು ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದಾಗ, ಹೊರಬಿದ್ದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರಗಳು 60 ಮತ್ತು 90 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳಷ್ಟು ಇದ್ದುವು. ಸ್ಫುರಣಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ, ಮೇಘಮಂದಿರ (cloud chamber) ದ ವಿಧಾನವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಬ್ಲಾಕೆಟ್ ಮಾರ್ಗ ಪಥಗಳ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ (tracks) ಕವಲು ಒಡೆದಿರುವ (forked) ಪಥಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಿ, ಆಮ್ಲಜನಕ (O^{17}) ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ($_1H^1$) ಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸುವ ಗೆರೆಗಳನ್ನು ನಿದರ್ಶಿಸಿ, ಮುಖ್ಯ ಬೀಜಾಂಶದ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಿದನು.

ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದ ಮೂಲ ಪ್ರಯೋಗದ ನಂತರ, ನೂರಾರು ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಗಳು ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆದಿವೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ತಾಂತ್ರಿಕ ಕುಶಲತೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ಸೂಕ್ಷ್ಮ ವೀಕ್ಷಣೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ಒಂದು ಹೊಸ ದಾಖಲೆಯನ್ನೇ ನಿರ್ಮಿಸುತ್ತಿವೆ. ಈ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದವನ್ನು ಆರಿಸಿ ಅವುಗಳ ವಿವರಗಳನ್ನು ಕೊಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಾಧಿಸಲಾದ ಮುಖ್ಯ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನೂ ಅವುಗಳ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನೂ ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿಮರ್ಶಿಸಲಾಗುವುದು.

3.2 ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಗಮನಿಸಬೇಕಾದ ಕೆಲವು ಅಂಶಗಳು

ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ನಾವು ಇಂಥ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅನುಸರಿಸಬೇಕಾದ ತಂತ್ರ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಈಗ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಪರೀಕ್ಷಿಸಬಹುದು.

1. ಮೂಲ ವಸ್ತುವಿನ ಬೀಜಾಂಶ

ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಬೇಕಾದರೆ, ನಾವು ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಮೂಲ ವಸ್ತುವನ್ನು ಲಕ್ಷ್ಯವನ್ನಾಗಿ ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಈ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ತಾಕುವಂಥ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು.

ಇದೇನೂ ಸುಲಭವಲ್ಲ. ಬೀಜಾಂಶದ ಪ್ರಮಾಣಗಳು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ. ಆಳತೆಯಷ್ಟು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳೊಡನೆ ಸಂಪರ್ಕಮಾಡಿ ಘರ್ಷಣೆ

ಮಾಡುವ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಕೂಡ ಅಷ್ಟೇ ಅಲ್ಪ ಗಾತ್ರದವುಗಳಾಗಿ ಇರಬೇಕು. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಆ ಕ್ಷಿಪಣಿಯಂತಿರುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಅಪಾರವಾಗಿರಬೇಕು. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಅವುಗಳು ಪರಮಾಣುವಲಯಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ದಾಟಿ, ಬೀಜಾಂಶದ ಸುತ್ತ ಇರುವ ಪ್ರತಿಬಂಧಕವನ್ನು ಮೀರಿ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಲಕ್ಷ್ಯ ಮತ್ತು ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳು (tiny target, tiny missiles) ಅಷ್ಟು ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ನಡೆಯಬಹುದಾದ ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಸಂಭವನೀಯತೆಯೂ ಅಲ್ಪವಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ, ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಫಲಗಳನ್ನು ಅರಿಯಲು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಸಾಧನಗಳನ್ನೂ ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ರಚಿಸಬೇಕು.

2. ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಪ್ರತಿಬಂಧಕ

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಪರಮಾಣುವಿನ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಬೀಜಾಂಶದ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಕಲ್ಪಿತವಾಗಿ ಇದು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ರಕ್ಷಣೆಯ ಕೋಟೆಯಂತಿರುತ್ತದೆ. ಹೊರಗಿನಿಂದ ಬರುವ ಯಾವ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳೇ ಆಗಲಿ, ಈ ರಕ್ಷಣೆಯ ಆವರಣವನ್ನು ಭೇದಿಸುವಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಈ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳು α–ಕಣಗಳು, ಪ್ರೋಟಾನ್, ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ($_2He^4$, $_1H^1$, $_1H^2$) ಗಳಾಗಿದ್ದರೆ ಇವುಗಳಿಗೆಲ್ಲ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಬಹು ಭಾಗವು ಬೀಜಾಂಶದ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸಿದಾಗ, ಅಪಕರ್ಷಣ ಹೊಂದಿ ಚದರುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಕಣಗಳು ತಮ್ಮ ವೇಗದ ಬಲದಿಂದ ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು, ಆ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಭೇದಿಸಿ ಒಳಹೊಕ್ಕರೂ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಬಹಳ ಕುಂದಿ, ಘರ್ಷಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ತುಂಬಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಇತ್ತೀಚಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಕಣವು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು ಅದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಈ ಕಣವನ್ನು ಕ್ಷಿಪಣಿಯನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದು ಬಹಳ ಲಾಭಕರವಾದುದು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಮುಖ್ಯ ಗುಣವು ಅದರ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಶೂನ್ಯತೆಯಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದು ಸರಾಗವಾಗಿ, ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ದಾಟಿ ಬೀಜಾಂಶದ ಮೇಲೆ ತನ್ನ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಬೀರಿ, ಅದರ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಶಸ್ತವಾದ ಕ್ಷಿಪಣಿಯಾಗಿದೆ. ಕಣ–ಅಲೆಗಳ ಸಮನ್ವಯ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ

ಪ್ರತಿಬಂಧಕವನ್ನು ಎದುರಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳು ಆ ಕೋಟೆಯೊಳಗೆ ತೂರುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಸ್ವಲ್ಪ ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತದೆ.

3. ನಿರ್ದೇಶಕ ಸಾಧನಗಳು

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಿ, ಸೂಕ್ತ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಸರಿಯಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿ ಸಫಲವಾದರೂ, ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳನ್ನೂ ಇತರ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೂ ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಿ ಅವುಗಳ ಸ್ವರೂಪಗಳನ್ನೂ ವಿವರಗಳನ್ನೂ ತಿಳಿಯುವುದು ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವಾಗುತ್ತದೆ. ಲಕ್ಷ್ಯವನ್ನಾಗಿಟ್ಟಿರುವ ವಸ್ತುವು ಬಹಳ ಭಾರದ್ದಾಗಿದ್ದರೆ, ಭಗ್ನವಾದ ಅದರ ತುಂಡುಗಳು ನಮಗೆ ದೊರಕದೆ ಹೋಗಬಹುದು. ಇದರೊಂದಿಗೆ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ನಂಥ ಸಣ್ಣ ಕಣವಾದರೆ ಅವುಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸುವುದು ಅಷ್ಟು ಕಷ್ಟವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಪ್ರಯೋಗದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗವು ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಸಾಧನಗಳು.

4. ಫಲಿತಾಂಶಗಳ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆ

ಇಷ್ಟೆಲ್ಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಬೇಕಾಗುವ ಉಪಕರಣಗಳಿದ್ದರೂ ಅವುಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳ ನಿಜವಾದ ಅರ್ಥವನ್ನು ಅರಿತು ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದು ಬಹಳ ಅನುಭವಿಗಳೂ ನುರಿತವರೂ ಆದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಂದ ಮಾತ್ರ ಸಾಧ್ಯವಾಗುವ ಕೆಲಸ. ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವುದಾದರೂ ತಾಂತ್ರಿಕ ದೋಷಗಳ ಕಾರಣದಿಂದ ಮೂಲ ಪರಿವರ್ತನೆಯೇ ಆಗದೆ ಬೇರೆ ಕ್ರಿಯೆಯಾಗಿರಬಹುದು. ನಿಜವಲ್ಲದ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿ ಅವುಗಳಿಂದ ಭ್ರಮೆಗೊಳ್ಳದೆ ಇರಬೇಕಾದುದು ಅತ್ಯವಶ್ಯವಾದ ಗುಣ.

ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳು ಇಂಥ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಇರಬೇಕಾದುದು ಆವಶ್ಯಕವೆಂದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ :

(*a*) ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳಿಸಲು ಸಮರ್ಥವಾಗಿರುವ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವುದು : ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಧಗಳು. ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು, α–ಕಣಗಳು, ಮತ್ತು γ–ಕಿರಣಗಳು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರುತ್ತವೆ. ಡ್ಯೂಟರಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಮತ್ತೊಂದು ಗುಂಪಿನಲ್ಲಿದ್ದು ಕೃತಕ ಸಾಧನಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಎರಡನೆಯ ಗುಂಪಿನ ಕಣಗಳೇ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ನಿಯಂತ್ರಣದ ದೃಷ್ಟಿ

ಯಿಂದ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿವೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಬಹಳ ಪ್ರಭಾವಶಾಲಿಗಳಾದುವು.

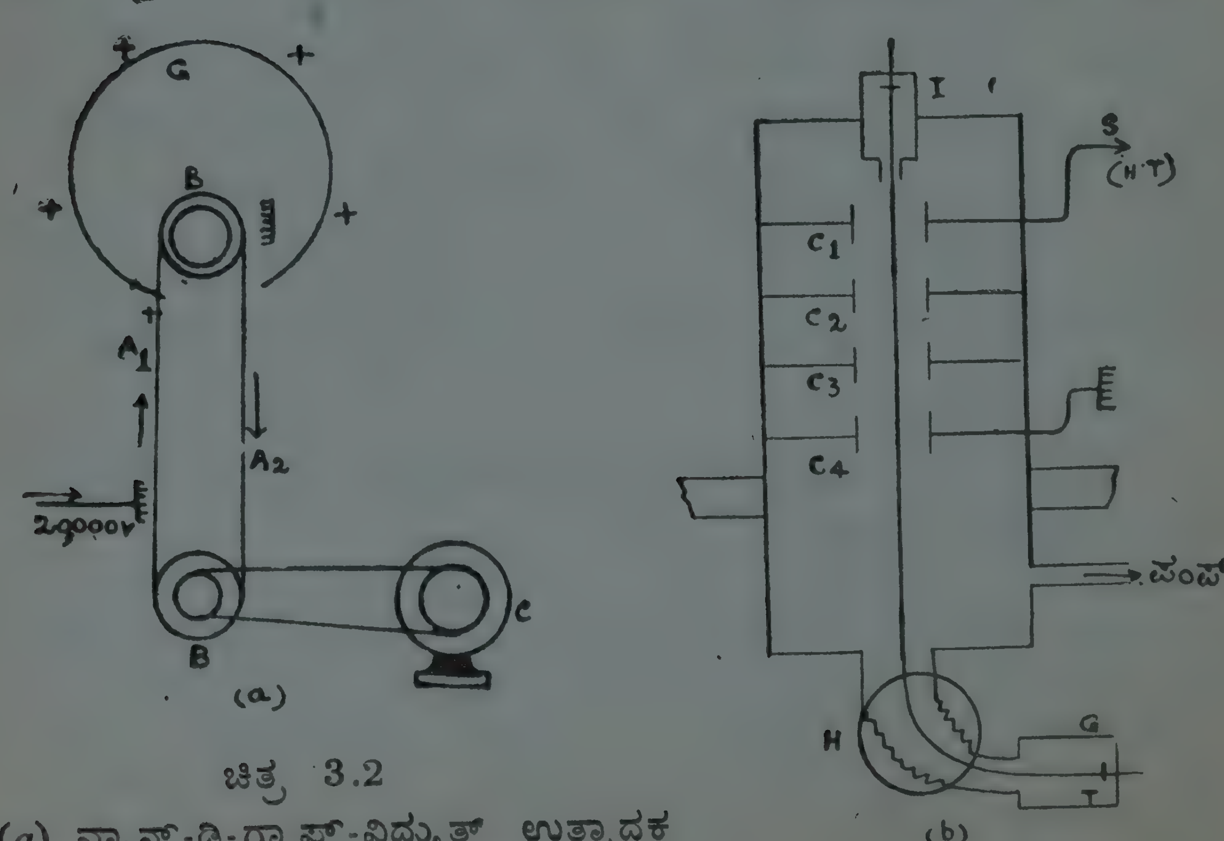
ಈ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಗೊಳಿಸಬೇಕು. ಇವುಗಳಿಂದಲೇ ಘರ್ಷಣಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದುವಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯುತಗಳಾದ ಕಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಬೇಕು. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಧ್ಯೇಯ ನಿಯಂತ್ರಿತ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಣ (controlled acceleration) ಮತ್ತು ತೀಕ್ಷ್ಣ ಶಕ್ತಿ ವರ್ಧನ (intensification). ಈ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಸಾಧನಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಧಗಳು–ಏಕಮುಖ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ (direct voltage accelerators)ಗಳು ಮತ್ತು ಅನುರಣನ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ (resonance accelerators)ಗಳು.

(*b*) ಭಗ್ನ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಉತ್ಪನ್ನಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಸಾಧನಗಳು.

ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಕೆಲವು ಮಾದರಿ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಈಗ ಕ್ರಮವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

3.3 ವ್ಯಾನ್–ಡಿ–ಗ್ರಾಫ್ ಉತ್ಪಾದಕ

ಇದು ಒಂದು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಯಂತ್ರ. ಇದನ್ನು ವ್ಯಾನ್–ಡಿ–ಗ್ರಾಫ್ ಎಂಬಾತನು 1931 ರಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಇದ



ಚಿತ್ರ 3.2
(*a*) ವ್ಯಾನ್-ಡಿ-ಗ್ರಾಫ್-ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದಕ
(*b*) ಕಣಗಳ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳ ನಾಳಿಕೆ

ರಿಂದ ಹಲವಾರು ದಶಲಕ್ಷ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಶೇಖರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ವಿವರಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ 3.2 *a* ದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

G ಎಂಬುದು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಗೋಳಾಕಾರದ ಲೋಹದ ಟೊಳ್ಳು ಗುಮ್ಮಟ. ಇದರ ವ್ಯಾಸವು 15 – 20 ಅಡಿಗಳಷ್ಟಿರಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಸುಮಾರು 40–50 ಅಡಿಗಳ ಎತ್ತರದ ಭದ್ರವಾಗಿರುವ ಸ್ತಂಭಗಳ ಮೇಲೆ ನಿಲ್ಲಿಸಿರುತ್ತದೆ. B–B ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಎರಡು ರಾಟೆಗಳ ಸುತ್ತಲೂ, ಅತಿ ಉದ್ದವೂ, ಅಗಲವೂ ಆದ ಎರಡು ತುದಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಭದ್ರವಾಗಿ ಬಿಗಿಯಲ್ಪಟ್ಟ ಒಂದು ಪಟ್ಟಿಯು (endless belt) ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ, ಅತಿ ವೇಗದಿಂದಲೂ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು A_1 A_2 ಎಂದು ತೋರಿಸಿದೆ. ಇದು ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕ ವಸ್ತುವಿನದಾಗಿರಬೇಕು. ಇದು ಬಟ್ಟೆ, ನಾರು ಅಥವಾ ಕಾಗದದ ರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದು ಸರಾಗವಾಗಿ ಸುತ್ತುವಂತೆಯೂ, ಎಷ್ಟು ಜೋರಾಗಿ ತಿರುಗುತ್ತಿದ್ದರೂ ಕಿತ್ತು ಹೋಗದಂತೆಯೂ ಇರಬೇಕಾದುದರಿಂದ ಅದನ್ನು ವಿಶೇಷ ಪರಿಶ್ರಮದಿಂದ ತಯಾರಿಸಿರಬೇಕು. ಕೆಳಗಿನ ರಾಟೆ B ಯನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಶಕ್ತಿಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಮೋಟಾರು ಯಂತ್ರ C ಗೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿ, ಪಟ್ಟಿಯು ಸುಲಭವಾಗಿಯೂ, ಅತಿ ವೇಗವಾಗಿಯೂ ಸುತ್ತುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಪಟ್ಟಿಯ ಕೆಳಭಾಗದ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ M ಎಂಬ ಒಂದು ಲೋಹದ ಬಾಚಣಿಗೆ ರೀತಿಯ ಬ್ರಷ್ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದು ಸಹಾಯಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಶೇಖರಕ ಯಂತ್ರಕ್ಕೆ – ವಿಂಸ್‌ಹರ್ಸ್ಟ್ (Whimshurst machine) ಮಾದರಿಯ – ಸಂಪರ್ಕ ಪಡಿಸಿದರೆ ಈ ಲೋಹದ ಹಲ್ಲುಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವು ಶೇಖರವಾಗಿ ಅದರಿಂದ ಪಟ್ಟಿಯ ತಳ ಭಾಗಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳು (electric charges) ಚಿಮುಕಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಮೇಲ್ಭಾಗದ ರಾಟೆ B ಯು ಲೋಹದ ಗೋಳದ ಒಳಭಾಗದಲ್ಲಿದ್ದು ಅದರ ಬಲಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ ಪಟ್ಟಿಯ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಲೋಹದ ಬ್ರಷ್ M^1 ಇದ್ದು ಇದನ್ನು ಗೋಳಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕವಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿದೆ.

ಈಗ ಈ ಯಂತ್ರವು ಹೇಗೆ ಕೆಲಸಮಾಡುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯುವುದು ಸುಲಭವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಮೋಟಾರಿನಿಂದ ಚಾಲಿತವಾದ ರಾಟೆಗಳ ಸುತ್ತ ಇರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕದ ಉದ್ದ ಪಟ್ಟಿಯು ವೇಗವಾಗಿ ಸುತ್ತುತ್ತಲಿರುವಾಗ, ಅದರ ಎಡಭಾಗದ (A_1) ಕೆಳ ತುದಿಯಲ್ಲಿ M ನಿಂದ ಪಡೆಯಲಾದ ವಿದ್ಯುದಂಶದೊಡನೆ ಮೇಲಕ್ಕೆ ಏರುತ್ತದೆ. ಈ ವಿದ್ಯುದಂಶಭರಿತವಾದ ಎಡ ಭಾಗದ ಪಟ್ಟಿಯು ಮೇಲಿನ ರಾಟೆಯ ಮೂಲಕ ಸುತ್ತಿ M^1 ಬ್ರಷ್‌ನ ಹತ್ತಿರ ಬರುವಾಗ ಈ ಬ್ರಷ್ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿರುವ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಗ್ರಹಿಸಿ ಅದನ್ನು ಶೇಖರಿಸಿ ಲೋಹದ ಗೋಳ (G) ಕ್ಕೆ ಕೊಡುತ್ತದೆ, ಬಲ ಭಾಗದ ಪಟ್ಟಿಯು ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಕಳೆದು

ಕೊಂಡು ಸುತ್ತಿ ಬಂದು ಮತ್ತೆ ಎಡ ಭಾಗಕ್ಕೆ ಬಂದಾಗ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಿ, ಮೇಲ್ಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ M^1 ಮೂಲಕ ಗೋಳಕ್ಕೆ ಒಯ್ಯಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, M ಬ್ರಷ್‌ಗೆ ಸುಮಾರು 10,000 ಅಥವಾ 20,000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಸಂಪರ್ಕವಿದ್ದರೆ, ಈ ವಿದ್ಯುಜ್ಜನಕದಿಂದ ಇದು ಬಹುಗುಣವಾಗಿ ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಮೇಲಿರುವ ಲೋಹದ ಗೋಳದಲ್ಲಿ ಶೇಖರವಾದ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಅದರ ಮೇಲೆ ಏಕರೂಪವಾಗಿ ಹರಡುತ್ತದೆ. ಯಂತ್ರವು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಚಲನ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಲೋಹದ ಗೋಳದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕರ್ಷಣ ಶಕ್ತಿಯು (tension) ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗಿ, ಸುಮಾರು 2–3 ದಶಲಕ್ಷ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಒಂದು ಗೋಳದ ಬದಲು ಎರಡು ಗೋಳಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ, ಒಂದರಲ್ಲಿ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಶೇಖರವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿ ಮತ್ತೊಂದರಲ್ಲಿ ಅದೇ ಪ್ರಮಾಣದ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನೂ ಶೇಖರಿಸಿದರೆ, ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಅಂತರವು ದ್ವಿಗುಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಆದಿಯಲ್ಲಿ ಪಟ್ಟಿಯ ಒಂದು ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶ ಇದ್ದರೂ ಅತಿ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಸ್ವಯಂಚಾಲಕವಾಗಿಯೇ ಅತ್ಯಧಿಕವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶೇಖರವಾಗಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಈಗ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ಕೃತಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ನಾವು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ನಂಥ ಸಣ್ಣ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ಅವುಗಳನ್ನು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಸಾಧಕಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಬೇಕಾದ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ದೊರಕಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಜನಕದಿಂದ ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ದಶ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ಇದನ್ನು ಕಣಗಳ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಈ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕಾಗಿ ಒಂದು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು (accelerating tube) ರಚಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಒಂದು ಮಾದರಿಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 3.2 *b* ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಲಾಗಿದೆ.

A ಎಂಬುದು ಒಂದು ಉದ್ದವಾದ ಗಾಜು ಅಥವಾ ಪೋರ್ಸಿಲೈನಿನ ನಾಳಿಕೆ. ಇದರ ಮೇಲ್ಭಾಗದಲ್ಲಿ I ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ನಾಳಿಕೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣ (ions) ಗಳೇ ಪರೀಕ್ಷಕ ಕಣಗಳಾಗಿದ್ದು ಇವುಗಳನ್ನು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಬೇಕು. A ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಪ್ರಬಲವಾದ ಗಾಳಿಯ ಪಂಪಿನ (P) ಸಂಪರ್ಕದ ಮೂಲಕ ನಿರನಿಲವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಬೇಕು. ಈ ನಾಳಿಕೆಯ ಉದ್ದಕ್ಕೂ ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನಾಕ್ಷವಾಗಿರುವ ಹಲವಾರು ಲೋಹದ ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಗಳನ್ನು (metal cylinders) ಸಮಾನಾಂತರ ದೂರಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು C_1, C_2…… ಎಂದು ತೋರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳೆಲ್ಲ ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ

ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕ ಶಾಖೆಗಳಿಂದ ಬೇರ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಮೇಲಿನ ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯನ್ನು (C_1) ವಿದ್ಯುತ್ ಜನಕಕ್ಕೂ, ಕೆಳಗಿನದನ್ನು (C_4) ಭೂಮಿಗೂ (E) ಸಂಪರ್ಕ ಗೊಳಿಸಬಹುದು.

A ನಾಳಿಕೆಯ ತಳಭಾಗ (F) ದಲ್ಲಿ ಲಂಬವಾಗಿ ಮತ್ತೊಂದು ಶಾಖೆಯನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ ಇವುಗಳ ನಡುವೆ (H) ಎಂಬ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವು ಏರ್ಪಡುವಂತೆ ಮಾಡಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಕಣಗಳು G ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ T ಎಂಬ ಲಕ್ಷ್ಯದ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡ ಬಹುದು.

ಈಗ I ನಾಳಿಕೆಯಿಂದ ಪ್ರವೇಶಿಸುವ (ಕ್ಷಿಪಣಿ) ಕಣಗಳು ನೇರವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತ C_1, C_2........ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಗಳ ಅಕ್ಷಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ ಅವು ಗಳ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ ಅಂತರಗಳ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ವೇಗೋ ತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಹಂತ ಹಂತವಾಗಿ, ವೇಗವು ವೃದ್ಧಿಗೊಳ್ಳುತ್ತ ಹೋಗು ತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಕೊನೆಯ ಹಂತದ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ ಅಪಾರವಾದ ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು F ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ (H) ವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವಾಗ, ಅವುಗಳ ಮಾರ್ಗವು 90° ಗಳ ಮೂಲಕ ಪಲ್ಲಟ ಹೊಂದಿ ಅಂತಿಮವಾಗಿ G ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ (T) ಲಕ್ಷ್ಯದ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವಾಗ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇಲ್ಲಿ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ವಿಶ್ಲೇಷಣದಿಂದ (magnetic analyzer) ಒಂದೇ ವೇಗದ ಕಣಗಳೆಲ್ಲವೂ ಒಂದು ಸಂಕುಚಿತ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಸಂಗಮ (focus) ವಾಗುವ ಸಾಧನವು ಏರ್ಪಟ್ಟಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ಸಾಧನವನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ವಿಧದ ಕಣಗಳ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೂ ಉಪಯೋಗಿಸುವಂತಿದ್ದು ಇದು ಬಹಳ ಸಹಕಾರಿ ಯಾಗಿದೆ. ಈ ಉಪಕರಣದ ವಿಧಾನವನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಪಡೆದಿರುವ ಉತ್ಪಾದಕಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, ಅವುಗಳಿಂದ ಸುಮಾರು 1 MeV ಪ್ರಮಾಣದ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ x–ಕಿರಣ ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

3.4 ಕಾಕ್‌ರಾಫ್ಟ್ ಮತ್ತು ವಾಲ್ಟನ್ ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರ್ಮಾಣಕ ಯಂತ್ರ

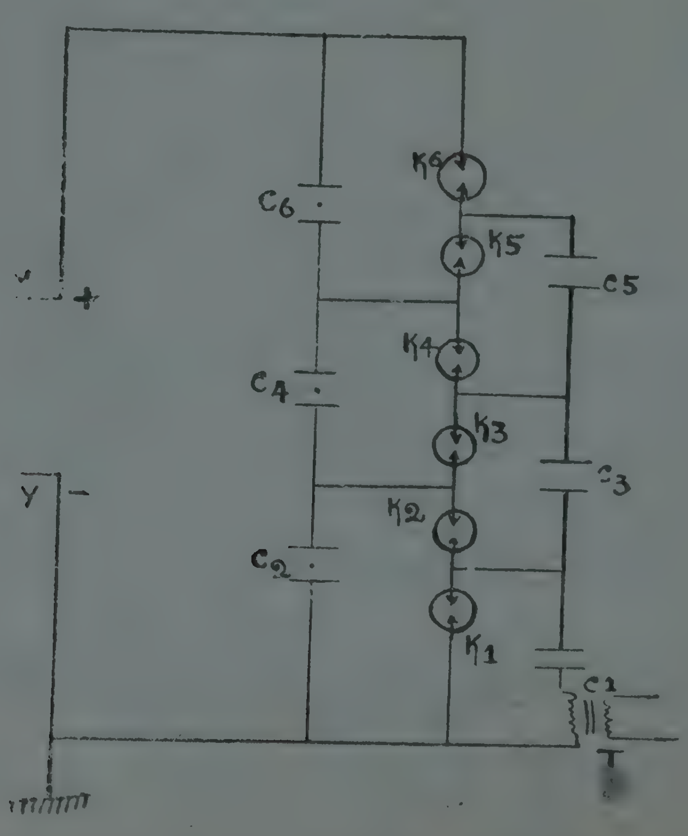
ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಥಮತಃ ಬೃಹತ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ಅವುಗಳ ಮೂಲಕ ಕೃತಕ ವಿಧಾನದಿಂದ ವಸ್ತು

ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ನಿದರ್ಶಿಸಿದ ಕೀರ್ತಿ ಕಾಕ್‌ರಾಫ್ಟ್ ಮತ್ತು ವಾಲ್ಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಸಲ್ಲತಕ್ಕದ್ದಾಗಿದೆ. ಇವರು 1932 ರಲ್ಲಿ ತಮ್ಮಿಂದಲೇ ಕಲ್ಪಿತವಾದ ವಿಧಾನದಿಂದ 800,000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿದರು. ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನೇ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅವುಗಳಿಗೆ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಮಾಡಿಸಿ, ಲಿಥಿಯಂ ಮತ್ತು ಬೋರಾನ್ ಧಾತುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿದರು. ಈ ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, α–ಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾದುದನ್ನು ತೋರಿಸಿದರು. ಇದರ ಸಮೀಕರಣವು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದಂತಿರುತ್ತದೆ. ಹೊರಬಿದ್ದ α–ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 17.2 MeV ಗಳಾಗಿದ್ದಿತು.

$$_{3}Li^{7} + {}_{1}H^{1} \rightarrow 2\ {}_{2}He^{4} \qquad (3.2)$$

ಲಿಥಿಯಂ + ಪ್ರೋಟಾನ್ → 2 α–ಕಣಗಳು.

ಈಗ ಈ ಉಪಕರಣದ ರಚನೆಯನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು. ಇದರ ತತ್ತ್ವವಾದರೂ ಬಹಳ ಸರಳವಾದುದು. ಕಡಮೆ ಪ್ರಮಾಣದ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಗ್ರಾಹಕ (condensers) ಗಳನ್ನು ತುಂಬಿ, ಇಂಥ ಹಲವಾರು ಸಂಗ್ರಾಹಕಗಳನ್ನು ಒಂದು ಶ್ರೇಣಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿ, ಹೀಗೆ ಸಂಗ್ರಹವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ವಿಸರ್ಜನ ಮಾಡಿಸಿದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಬಹುಗುಣವಾಗಿ ವೃದ್ಧಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಸಂಗ್ರಾಹಕಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 20 ಆಗಿದ್ದು ಒಂದೊಂದ



ಚಿತ್ರ 3.3 ವಿದ್ಯುತ್ ಕರ್ಷಣ ವರ್ಧಕ (ಕಾಕ್‌ರಾಫ್ಟ್–ವಾಲ್ಟನ್)

ರಲ್ಲಿಯೂ, ಶೇಖರವಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ತು 50,000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಪ್ರಮಾಣವಾದರೆ, ಒಟ್ಟು ವಿಸರ್ಜನವಾಗುವ ವೋಲ್ಟೇಜ್ 10 ಲಕ್ಷ ಆಗುವುದು. ಇದರ ವಿಧಾನವು ಚಿತ್ರ (3.3) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಉಪಕರಣದ ಮಾದರಿಯಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

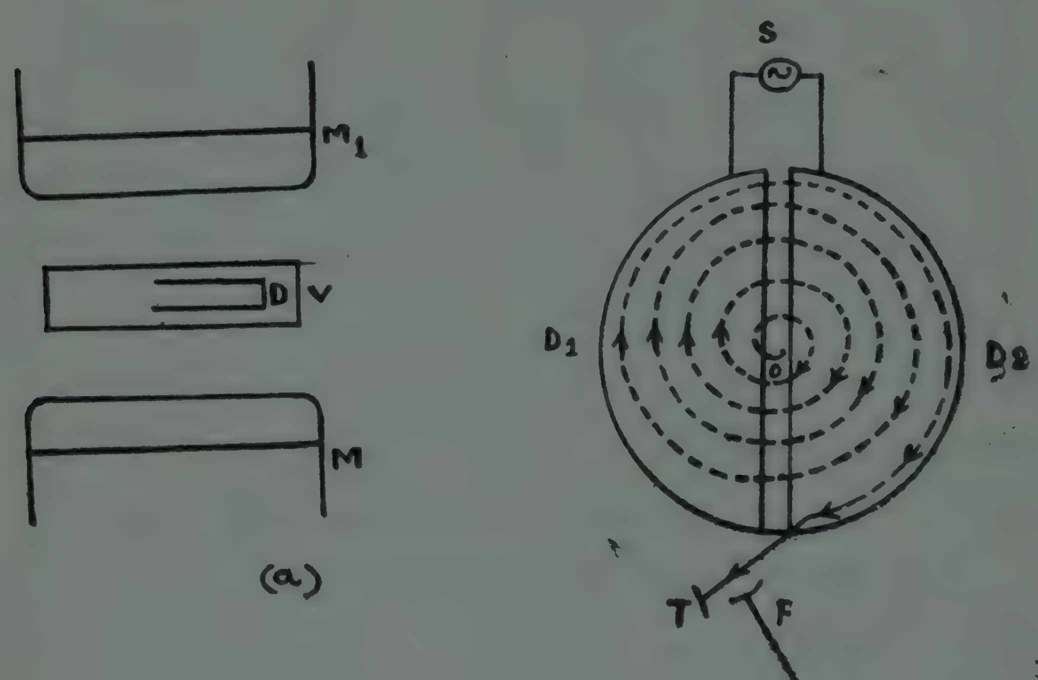
ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಗ್ರಾಹಕಗಳಾದ C_1, C_3, C_5....ಮತ್ತು C_2, C_4, C_6 ಗಳನ್ನು ಎರಡು ಸಾಲುಗಳಲ್ಲಿ ಶ್ರೇಣಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ ಜೋಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ಸಂಗ್ರಾಹಕ ಶಕ್ತಿ (capacities) ಗಳು ಒಂದೇ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು K_1, K_2...K_6.... ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಕಿನೋಟ್ರಾನ್ (kenotron) ನಾಳಿಕೆಗಳ ಮೂಲಕ ಅಡ್ಡಡ್ಡಲಾಗಿ ಸಂಪರ್ಕವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಕಿನೋಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ನಿರನಿಲ ದ್ವಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆ (vacuum tubes – diodes) ಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ಆಂದೋಳಕ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಏಕಮುಖ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನಾಗಿ (rectifiers) ಪರಿವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. T ಎಂಬುದು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಆಂದೋಳಕ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಗ್ರಾಹಕಗಳಿಗೆ ಒದಗಿಸುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಅಳವಡಿಸುವುದರಿಂದ, C_2 ಸಂಗ್ರಾಹಕದಿಂದ C_3, ಅಲ್ಲಿಂದ C_4.... ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಹಂತ ಹಂತವಾಗಿ ಏರುತ್ತ ಹೋಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಹುಗುಣವಾಗಿ ಕೊನೆಗೆ X, Y ಗಳ ನಡುವೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಏಕಮುಖ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರವು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತದೆ. ಕಿನೋಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪರಿವರ್ತಕವೂ ನಿರಂತರವಾಗಿ ಕೆಲಸಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರೆ, X, Y ಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಟ್ಟವು ಏಕರೂಪದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದರೊಂದಿಗೆ ಚಿತ್ರ 3.2 (b) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಕಾಕ್‌ರಾಫ್ಟ್ ಮತ್ತು ವಾಲ್ಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ಯಂತ್ರದ ಸಹಾಯದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳು ಲಿಥಿಯಂ ಲಕ್ಷ್ಯದ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ಮಾಡಿದರು. ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದ್ದರ ಫಲವಾಗಿ ಈ ಬೃಹತ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ 30 ಲಕ್ಷ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಈ ಮಾದರಿಯ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ಸರ್ವೇ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಸಂಶೋಧನಾಲಯಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ.

3.5 ಲಾರೆನ್ಸ್ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್

ಇದುವರೆಗೂ ತಿಳಿಸಿದ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಏಕಮುಖ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ನೇರವಾದ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ಬಹುಗುಣಗೊಳಿಸಿ ಅದರಿಂದ ಕಣಗಳಿಗೆ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಕೊಡಲಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ, ಪ್ರೊ|| ಲಾರೆನ್ಸ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕ್ಯಾಲಿಫೋರ್ನಿಯದಲ್ಲಿರುವ

ಬರ್ಕ್‌ಲಿ ಅಧ್ಯಯನ ಸಂಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿ ಅನುರಣನ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷ (resonance acceleration)ದ ತತ್ತ್ವದ ಮೇಲೆ ಒಂದು ಹೊಸ ನಮೂನೆಯ ಯಂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಇದೇ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಎಂದು ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿರುವ ಉಪಕರಣ.

ಈ ವಿಧಾನದ ಪ್ರಧಾನ ಗುಣವೇನೆಂದರೆ: ಕೆಲವು ಸಾವಿರ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಅತ್ಯಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಣಗಳಿಗೆ ಒದಗಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಹಿಂದಿನ ಸಾಧನಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕತ್ವ (insulation) ವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವುದೇ ಬಹಳ ಕಷ್ಟವಾದ ಕೆಲಸವಾಗಿತ್ತು. ಇದರಿಂದಾಗಿ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ 6 ದಶಲಕ್ಷ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಮುಟ್ಟಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಸುಮಾರು 50 MeV ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಣಗಳಿಗೆ ಕೊಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿ ಅವುಗಳು ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಬಹುದಾಗಿದೆ. ಈಗ ಇದರ ಮುಖ್ಯಾಂಶಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ 3.4 ರಿಂದ ಕಾಣಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 3.4 ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್

C ಹಿತ್ತಾಳೆಯಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ನಿರನಿಲ ಆವರಣ. ಇದರ ಮೇಲ್ಭಾಗವೂ ಕೆಳಭಾಗವೂ ಉಕ್ಕಿನಿಂದ ತಯಾರಾಗಿದ್ದು ಈ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಲು ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ.

D_1–D_2 ಇವುಗಳನ್ನು 'ಡೀ' (dees) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ಯಂತ್ರದ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವೇ ಇದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಒಂದು ಚಪ್ಪಟೆಯಾದ ತಾಮ್ರ ಲೋಹದಿಂದ ರಚಿಸಲಾದ ಗುಂಡು ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯನ್ನು ತಯಾರುಮಾಡಿ ಸರಿಯಾಗಿ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ಕತ್ತರಿಸಿ ಬೇರ್ಪಡಿಸಲಾದ ಎರಡು ಅರ್ಧವೃತ್ತಾಕಾರದ

ಗೋಳಗಳೇ D_1–D_2; ಸುಮಾರು 80 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳ ವ್ಯಾಸವೂ 10–15 ಸೆಂ.ಮೀ ಗಳ ಎತ್ತರವೂ ಇರುವಂತೆ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿತ್ತು. C ಆವರಣದೊಳಗೆ ಇವುಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕಗಳ ಸ್ತಂಭಗಳ ಮೇಲೆ ಸ್ಥಾಪಿಸಿ ಒಂದೇ ಸಮತಲದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಎರಡು ಹೋಳುಗಳ ನಡುವೆ ಕೆಲವು ಸೆಂಟಿಮೀಟರ್‌ಗಳ ಅಂತರವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿ ಇಟ್ಟಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಮಧ್ಯ ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿಯೇ O ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಪ್ರವೇಶಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದೆ. ಈ ಕಣಗಳೇ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಉಪಕರಣವು ಮಾಡುತ್ತದೆ.

M_1–M_2 : ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳು. ಇವುಗಳ ಗಾತ್ರಗಳೂ ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಸ್ಥಾಪಿಸಿರುವ ನಿರನಿಲ ಮಂದಿರದ ಗಾತ್ರಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿದ್ದು, ಅದರಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಿಸಲ್ಪಡುವ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 15,000–20,000 ಗಾಸ್ (gauss) ಮಾನಗಳಾಗಿದ್ದುವು. ಇಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಬೇಕಾದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದ ಗಾತ್ರವೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು ಅದರ ತೂಕವು ಸುಮಾರು 100 ಟನ್‌ಗಳಷ್ಟು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

O : ಎರಡು 'ಡೀ' ಗಳ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾದ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ಬಂದು ಸೇರುವ ಜಾಗ. ಇವುಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಾಗಿರಬೇಕಾದರೆ, C ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಮೊದಲು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ನಿರನಿಲಗೊಳಿಸಿ, ಆ ಜಾಗದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಕಡಮೆ ಒತ್ತಡದಲ್ಲಿರುವ (ಸುಮಾರು $\frac{1}{100}$ ಮಿ.ಮೀ.) ಜಲಜನಕವನ್ನು ತುಂಬಿದರೆ ಇದರಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯುತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ (ionisation) ದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಧನ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹೀ ಜಲಜನಕ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುತ್ತವೆ. ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಡ್ಯುಟೇರಿಯಂ (${}_1H^2$) ಅನಿಲವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ ಅದರ ಧನ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹೀ ಕಣಗಳನ್ನು (ions) ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಬಹುದು.

ಈಗ (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಉಳಿದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸೋಣ.

S – ಇದೊಂದು ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಂದೋಳಕ. ರೇಡಿಯೋ ಯಂತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುವ ಪ್ರಬಲ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ, ಅಲ್ಪ ತರಂಗ ಪ್ರೇಷಕ (short-wave transmitter)ದ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿದೆ. ಇದರಿಂದ 10 ದಶಲಕ್ಷ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಆಂದೋಳನ ಮಾಡುವ ಸುಮಾರು 15,000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನಿಂದ 20 kW ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗಬಹುದು. ಈ ಆಂದೋಳಕ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಒಂದು ಪರಿವರ್ತಕ (transformer)ದ ಮೂಲಕ ಜಾಗರೂಕತೆ

ಯಿಂದ ಆಳವಡಿಸಿದ ಬಂಧಕಗಳ ಮೂಲಕ ಎರಡು 'ಡೀ' ಗಳಿಗೂ ಸಂಪರ್ಕ ಮಾಡಿಸಬೇಕು. ಇದರಿಂದ, 'ಡೀ' ಗಳ ಮಧ್ಯಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಧನ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ಚಲಿಸುವಾಗ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಪ್ರಬಲ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷ ಹೊಂದಲು ಸಹಾಯ ವಾಗುತ್ತದೆ.

T- (ಲಕ್ಷ್ಯ) ಯಾವ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಧನ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹೀ ಕಣಗಳನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಬೇಕೆಂದಿದೆಯೋ ಆ ವಸ್ತುವಿನ ಲಕ್ಷ್ಯ (target). ಧನ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹೀ ಕಣಗಳು 'ಡೀ' ಗಳ ಒಳಗೆ, ವೃತ್ತಾಕಾರದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತಿದ ಮೇಲೆ, ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಅದರ ಅಂಚಿನಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಕೂಡಲೆ, ಈ ಲಕ್ಷ್ಯವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿರಬೇಕು.

F - ಮಾರ್ಗನಿರ್ದೇಶಕ ಧ್ರುವ (deflector electrode). ಇದನು ಸುಮಾರು 50,000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಿಗಿಂತ ಮೇಲಿನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕರ್ಷಣಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದರೆ, ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಚದರಿಹೋಗದೆ ನೇರವಾಗಿ ಲಕ್ಷ್ಯದ ಮೇಲೆ ಸಂಗಮವಾಗುವಂತೆ ಇದು ಸಹಾಯ ಮಾಡುತ್ತದೆ.

ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಕ್ರಿಯೆಯ ವಿಧಾನ ಮತ್ತು ಅದರ ತತ್ತ್ವ

ಇದು ಕೆಲಸಮಾಡುವ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು 'ಡೀ'ಗಳ ನಡುವೆ ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿರುವ ಧನ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹೀ ಕಣಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಹೇಗೆ ಈ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕು.

ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಈ ಕಣಗಳು 'ಡೀ'ಗಳ ನಡುವಣ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿರುವಾಗ ಪ್ರಬಲವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಹತ್ತಾರು ಸಾವಿರ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರವು ಪರ್ಯಾಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯಿಂದ ಆಂದೋಳನ ಮಾಡುತ್ತದೆಂದು ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕು. ಈ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯು ಸುಮಾರು 10^7/ ಸೆಕಂಡ್ ಆದರೆ, D_1–D_2 ಗಳು ಪರ್ಯಾಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ + ಮತ್ತು – ಆಗಿ ಇವುಗಳಲ್ಲಿ + ನಿಂದ – ಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಕಾಲವನ್ನು t ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, $t = \frac{1}{2 \times 10^7}$ ಸೆಕಂಡ್ ಆಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಒಂದು ಸಮಯದಲ್ಲಿ D_1 + ಆಗಿದ್ದರೆ, ಈ 't' ಕಾಲದ ನಂತರ D_1 – ಆಗಿ, D_2 + ಆಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಇದು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯ.

D_1–D_2ಗಳ ನಡುವೆ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಹೊಂದಿದ ಕಣಗಳು ಅವುಗಳ ಒಳ ಪ್ರದೇಶಕ್ಕೆ ತಲಪಿದ ತತ್‌ಕ್ಷಣವೇ ಅವುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತವೆ. ಇದರ ದಿಕ್ಕು ಕಣಗಳ ಚಲನಮಾರ್ಗಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವುದರಿಂದ D_1–D_2 ಗಳ ಒಳಗಿರುವಾಗ, ಕಣಗಳು ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತವೆ.

ಈಗ ಚಿತ್ರ (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ವಿವಿಧ ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳು ಹೇಗೆ ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆಂದು ತಿಳಿಯೋಣ. ಮಧ್ಯಪ್ರದೇಶವಲ್ಲಿರುವ O ಬಿಂದುವಿನಿಂದ ಹೊರಡುವ ಕಣಗಳು ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ, ತಾತ್ಕಾಲಿಕವಾಗಿ ಯಾವ ಡೀ ಯು – ಆಗಿರುವುದೋ ಆ ಕಡೆ ಚಲನ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಮೊದಲು D_1 – ಆಗಿದೆ ಯೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. O ನಿಂದ ಹೊರಟ ಕಣಗಳು D_1 ಭಾಗವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿ ದೊಡನೆಯೇ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ತ್ರಿಜ್ಯದ ವರ್ತುಲ ಪಥದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅರ್ಧವೃತ್ತ (semi-circle) ಮುಗಿಪ ನಂತರ, D_1 ಹೊರಗಿರುವ ಮಧ್ಯಪ್ರದೇಶ (gap)ವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಸಣ್ಣ ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಂದೋಳನದ ದೆಸೆಯಿಂದ D_2 – ಆಗಿ D_1 + ಆಗುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿ ಸೋಣ. ಇದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಕಲ್ಪನೆ ಮತ್ತು ಈ ಯಂತ್ರದ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವ. ಯಂತ್ರ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡುವಾಗಲೇ, ಎಲ್ಲ ಉಪಕರಣಗಳ ಗಾತ್ರಗಳು ಮುಂತಾದ ವಿವರಗಳನ್ನು ಈ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿಯೇ ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕು. ಇದೇ ಅತಿ ಕಷ್ಟವೂ, ಸೂಕ್ಷ್ಮವೂ, ಅತ್ಯಂತ ಕುಶಲತೆಯಿಂದ ಮಾಡಬೇಕಾಗಿಯೂ ಇರುವ ಮುಂಜಾಗ್ರತೆಯ ಕೆಲಸ. ಕಣಗಳು ಈ ಅರ್ಧವೃತ್ತವನ್ನು ಸುತ್ತುವ ಕಾಲವೂ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಬದಲಾವಣೆಯ ಕಾಲ (t) ವೂ ಒಂದೇ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರಬೇಕಾದುದು ಅತಿ ಆವಶ್ಯಕ. ಅಂದರೆ, ಈ ಉದಾಹರಣೆ ಯಲ್ಲಿ $t = \frac{1}{2 \times 10^7}$ ಸೆಕಂಡ್ ಆಗಿದ್ದರೆ, ಇದೇ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಕಣವೂ ಡೀ ಯೊಳಗೆ ಒಂದು ಅರ್ಧವೃತ್ತವನ್ನು ಮುಗಿಸಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಅನು ಗುಣವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಬಲ (H) ವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿರಬೇಕು. ಈ ಎರಡು ಕಾಲಗಳೂ ಸಮವಾಗಿರುವುದೇ ಈ ವಿಧಾನದ ಅನುರಣನ ತತ್ತ್ವ (resonance). ಈಗ ಕಣಗಳು ಮೊದಲನೆಯ ಅರ್ಧವೃತ್ತದಲ್ಲಿ (ತ್ರಿಜ್ಯ r_1) D_1 ಒಳಗೆ 't' ಕಾಲ ದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತಿ ಹೊರಬಿದ್ದ ತತ್‌ಕ್ಷಣವೇ, D_2 ತಾತ್ಕಾಲಿಕವಾಗಿ – ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಆ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಆಕರ್ಷಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಆಗುವಾಗ ಅದರ ಮೊದಲಿನ ವೇಗವು (v_1) ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಉತ್ಕರ್ಷಹೊಂದಿ D_2ವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುವಾಗ ವೇಗವು ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು v_2 ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಈ ವೇಗದಿಂದ D_2 ಒಳಗೆ ಒಂದು ಅರ್ಧವೃತ್ತದಲ್ಲಿ (ತ್ರಿಜ್ಯ r_2) ಸುತ್ತಿ ಮತ್ತೆ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. v_2 ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ, r_2 ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆಂದು ಸುಲಭವಾಗಿ ತೋರಿಸಬಹುದು.

ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಇದಕ್ಕೆ ಕಾಲವು t' ಆದರೆ, $t' = t$ ಎಂದು ಕೂಡ ತೋರಿಸಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಈ ಹೆಚ್ಚು ತ್ರಿಜ್ಯದ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವ ಕಾಲವು ಮೊದಲಿನಷ್ಟೇ ಆಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, D_2 ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಸಮಯಕ್ಕೆ ಸರಿಯಾಗಿ ಮತ್ತೆ D_1 – ಆಗಿ ಅಲ್ಲಿಗೆ ಆಕರ್ಷಿತವಾದ ಕಣಗಳು ಮತ್ತೆ ವೇಗವೃದ್ಧಿಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಈ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದ r_3 ತ್ರಿಜ್ಯದ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಮೊದಲಿನ ಕಾಲವನ್ನು (t) ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. $r_2 = r_3$ ಆ ಸಮಯಕ್ಕೆ ಸರಿಯಾಗಿ D_2 ಮತ್ತೆ – ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ವಿಧಾನವೇ ಹಲವಾರು ಸಾರಿ ಮುಂದುವರಿದ ಮೇಲೆ, ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ತಮ್ಮ ಪರ್ಯಟನಗಳನ್ನು ವಿವಿಧ ತ್ರಿಜ್ಯಗಳ ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಸಿದ ನಂತರ, D_2 ಅಂಚಿಗೆ ಬಂದು ಪರಿಧಿಯನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತವೆ. F ಧ್ರುವದ ತಡೆಯಿಂದ, ಅವುಗಳು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, T ಲಕ್ಷ್ಯದ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣಮಾಡಿ ಅದರ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಪಡೆದಿರುತ್ತವೆ.

ಮೇಲಿನ ವಿವರಣೆಯಿಂದ ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಾಗುವ ಮುಖ್ಯಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೀಗೆ ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುವ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ 'ಡೀ' ಗಳೊಳಗೆ ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತಲಿರುವ ವೇಗಗಳಿಂದ ವಿವಿಧ ತ್ರಿಜ್ಯಗಳ ಅರ್ಧವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಪರ್ಯಟನ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿದ ತತ್‌ಕ್ಷಣ ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತವೆ. ಇಂಥ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಹತ್ತಾರು ಲಕ್ಷಗಳ ಆವರ್ತಗಳಲ್ಲಿ ವೃದ್ಧಿಗೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ 'D' ಗಳ ಹೊರಗೆ ನಿರ್ಗಮನಮಾಡುವಾಗ ಅವುಗಳ ವೇಗವು ಅಪಾರವಾಗಿದ್ದು ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಪಡೆದಿರುತ್ತವೆ. ಈ ವಿಷಯವನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ತಿಳಿಸಲು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಸರಳ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಬಹುದು.

ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶ : E
ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶ : M
ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಶಕ್ತಿ : H
ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ
ಆಂದೋಳನದ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆ: n

ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಆವರ್ತಕಾಲ $= T = \frac{1}{n}$

ಡೀಗಳ + ನಿಂದ – ಗೆ ಪರಿವರ್ತನಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಕಾಲ $= t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2n}$.

ಅನುರಣನ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಕಣಗಳು ಡೀ ಗಳೊಳಗೆ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಅರ್ಧವೃತ್ತವನ್ನು ಸುತ್ತಲು ಬೇಕಾದ ಕಾಲವು t' ಆದರೆ $t'=t$ ಇರಬೇಕು.

ಆ ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯವು r ಆಗಿ, ವೇಗವು v ಆಗಿರಲಿ. v ಮತ್ತು r ಗಳನ್ನು ಸಂಬಂಧಿಸುವ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ,

$$HEv = \frac{Mv^2}{r}$$

$$\therefore \ r = \frac{Mv}{HE}$$

$$\frac{r}{v} = \frac{M}{HE} = \text{ನಿಯತಾಂಕ} \tag{3.3}$$

ಅಂದರೆ, ಹಿಂದೆ ಹೇಳಿದಂತೆ, $r_1, r_2, \ldots$ ಗಳು ಅರ್ಧವೃತ್ತಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯಗಳಾಗಿಯೂ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ ವೇಗಗಳು $\nu_1, \nu_2 \ldots$ ಆಗಿದ್ದರೆ,

$$\frac{r_1}{v_1} = \frac{r_2}{v_2} = \ldots = \frac{M}{HE} \tag{3.4}$$

$v_2 > v_1$ ಆಗುವುದರಿಂದ $r_2 > r_1$.

ಕಣಗಳು ಎಲ್ಲ ಅರ್ಧವೃತ್ತಗಳನ್ನೂ ಮುಗಿಸಿ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ D – ಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ, ಆ ಕೊನೆಯ ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯವು R ಆಗಿಯೂ, ವೇಗವು V ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, $R =$ ಡೀಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯಕ್ಕೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು.

$\frac{R}{V} = \frac{M}{HE}$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

$$V = \frac{HER}{M}. \tag{3.5}$$

R ಮತ್ತು H ಹೆಚ್ಚಿದ್ದಷ್ಟೂ V ಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ. ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಅವುಗಳ ಚಲನಶಕ್ತಿಯು K ಆದರೆ

$$K = \tfrac{1}{2} MV^2$$

$$\therefore \ K = \tfrac{1}{2} M \frac{H^2 E^2 R^2}{M^2} \tag{3.6}$$

$$K = \frac{H^2 E^2 R^2}{2M}$$

ಈಗ ಅನುರಣನ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ,

$$t = \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi r}{\nu} = \frac{\pi M}{HE} \text{ ಆಗುತ್ತದೆ.}$$

n= ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಆಂದೋಳಕ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆ (10^7) ಆದರೆ,

$$t = \frac{1}{2_n} \text{ ಆಗುತ್ತದೆ.}$$

$$\therefore n = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{E}{M}\right) \cdot H \qquad (3.7)$$

ಇದರಲ್ಲಿ ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯವು ಇಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ, ಇದು H ಮತ್ತು $\frac{E}{M}$ ನ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ.

ಅಂದರೆ, ಡ್ಯೂಟರಾನ್ $_1H^2$ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, $E=e; M=2M_H$

$$\therefore \frac{E}{M} = \frac{e}{2M_H}.$$

α–ಕಣ $_2He^4$ ಆದರೆ, $E=2e;\ M=4M_h$

$$= \frac{E}{M} = \frac{2e}{4M_H} = \frac{e}{2M_H} \qquad (3.8)$$

ಆದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವುದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೂ, ('n') ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದೇ ಆಗಿರಬಹುದು.

ಲಾರೆನ್ಸ್‌ನು 1932 ರಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಮೊದಲನೆಯ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ H = 14,000 ಗಾಸ್, ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ = 5,000 ವೋಲ್ಟ್. ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳ ವ್ಯಾಸವು 30 cm ಆಗಿದ್ದಿತು. ಇದರಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಹೊರಬಿದ್ದ ಶಕ್ತಿಯು 1.2 MeV ಗೆ ಸಮನಾಗಿದ್ದಿತು. ಯಂತ್ರದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವ ಸಲುವಾಗಿ, ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚು ಗಾತ್ರಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಪಿಸಿ, ಹಲವಾರು ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದನು. 1939 ರಲ್ಲಿ ಲಾರೆನ್ಸ್ ಮತ್ತು ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಬೃಹತ್ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದ ತೂಕವು ಸುಮಾರು 200 ಟನ್‌ಗಳೂ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಂದೋಳಕದ ಶಕ್ತಿಯು 60 kW ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದಿತು. ಇದರ ಸಹಾಯದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 8 MeV ಗೂ, ಡ್ಯೂಟರಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 16 MeV ಗೂ ಏರಿತು.

ಕಣಗಳು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದರೂ ಅವುಗಳಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡುವ ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕಾದರೆ, ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಇರಬೇಕಾದ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಜ್ಞಾನದ ಜೊತೆಗೆ, ಬೃಹತ್ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಲು ಬೇಕಾದ ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯ ತಾಂತ್ರಿಕ ಕುಶಲತೆಯೂ ಇರಬೇಕು ಎನ್ನುವುದು ಈ ಒಂದು ಉಪಕರಣದ ರಚನೆಯಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ವೆಚ್ಚವೂ ಕೂಡ ಅಪಾರವಾದುದು. ಈ ವಿವರಣೆಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಸ್ಥೂಲವಾದ ವಿಮರ್ಶೆಗೆ ಮಾತ್ರ ಅವಕಾಶವಿರುವುದರಿಂದ ಯಂತ್ರದ ನಿರ್ಮಾಣದಲ್ಲಿ ಎದುರಿಸಬೇಕಾದ ನೂರಾರು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಮುಂಜಾಗ್ರತೆಯ ಕ್ರಮುಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಿಲ್ಲ. ಇಷ್ಟು ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಅಪಾರವಾದ ಶಾಖವನ್ನು ತಡೆಗಟ್ಟಲು ಇಡೀ ಯಂತ್ರವನ್ನು 3–4 ಅಡಿಗಳ ದಪ್ಪದ ನೀರಿನ ಆವರಣಗಳಿಂದ ರಕ್ಷಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಅಪಾಯಕಾರಿಯಾದ ವಿಕಿರಣ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನುಳ್ಳ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಅಂಥ ಕಣಗಳಿಂದಲೂ ರಕ್ಷಣೆಯ ವಿಧಾನಗಳು ಕಲ್ಪಿತವಾಗಬೇಕು.

ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನಿನ ನಿರ್ಮಾಣವು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಘಟ್ಟವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದೆ. ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಹಲವಾರು ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿವೆ. ಲಾರೆನ್ಸ್ 1933 ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಮೊದಲ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ 1·33 MeV ಶಕ್ತಿಯ ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು Li ಲಕ್ಷ್ಯದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದ್ದರ ಫಲವಾಗಿ ಅದು ಭೇದಿಸಲ್ಪಟ್ಟು, 2 α–ಕಣಗಳು ಸುಮಾರು 22 MeV ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ ಹೊರಬಿದ್ದುವು.

$$_3Li^6 + {}_1D^2 \rightarrow 2\ {}_2He^4 \qquad (3.9)$$

ಲಿಥಿಯಂ + ಡ್ಯೂಟರಾನ್ → 2 α–ಕಣಗಳು.

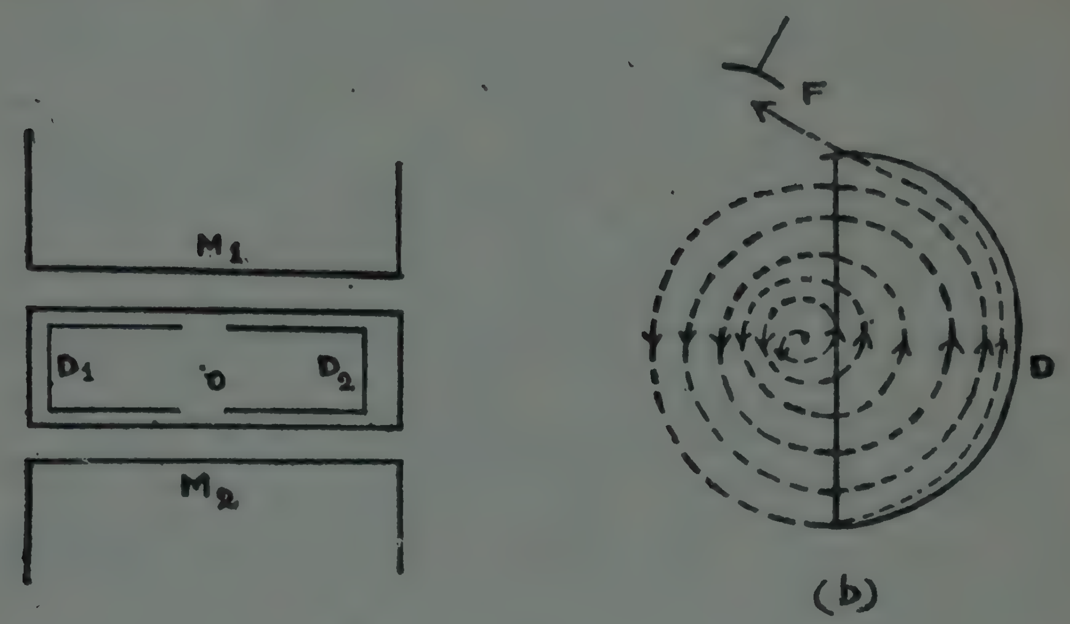
ಇದು ಆ ಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ನಿದರ್ಶಿಸುವ ಸಮೀಕರಣ.

ಈಗ ಪ್ರಪಂಚದ ನಾನಾ ಸಂಶೋಧನಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಥ ಯಂತ್ರಗಳು ಉಪಯೋಗದಲ್ಲಿವೆ.

3.6 ಅತಿ ಪ್ರಬಲ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಯಂತ್ರಗಳು (ಸಿಂಕ್ರೋ–ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್, ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್ ಇತ್ಯಾದಿ)

ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಭಾರಿ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಕೆಲವು ತಾಂತ್ರಿಕ ಬದಲಾವಣೆಗಳು ಅವಶ್ಯವಾಗುತ್ತವೆ. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ಲಾರೆನ್ಸ್ 1946 ರಲ್ಲಿ ಸಿಂಕ್ರೋ - ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ (synchro-cyclotron) ಯಂತ್ರವನ್ನು

ನಿರ್ಮಿಸಿ ಇದರಿಂದ ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಸುಮಾರು 200 MeV ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಿದನು. ಇದರ ಸ್ಥೂಲ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಚಿತ್ರ 3.5 ರಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.



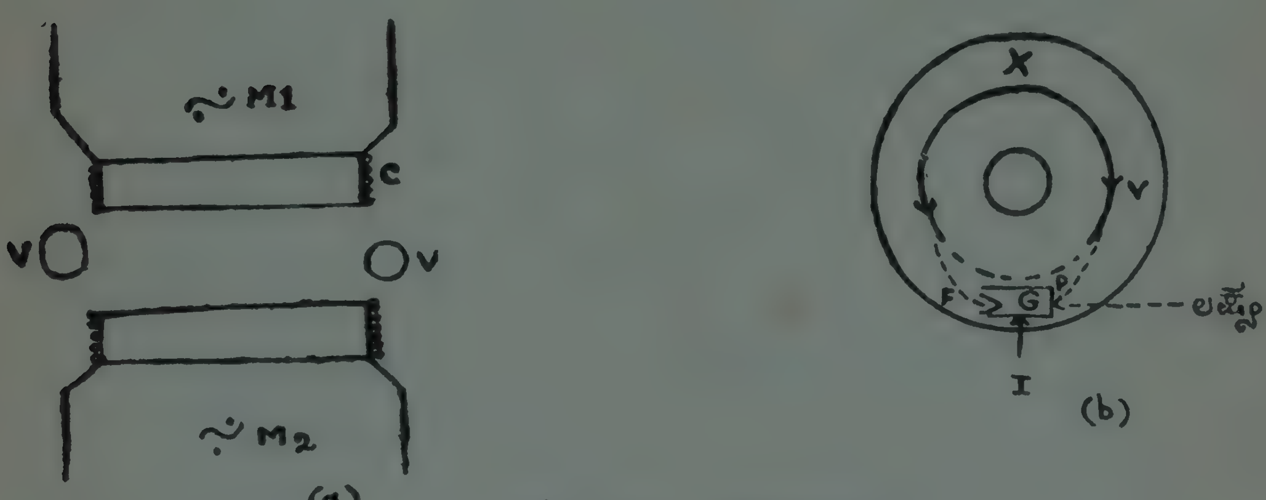
ಚಿತ್ರ 3.5 ಸಿಂಕ್ರೋ-ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್.

M_1–M_2 ಗಳು ಬೃಹತ್ ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳು. ಇವುಗಳ ವ್ಯಾಸವು 15 ಅಡಿಗಳು, ತೂಕ ಸುಮಾರು 4,000 ಟನ್‌ಗಳು. ಇವುಗಳಿಂದ ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ (H) ದ ಬಲವನ್ನು ನಿಯತವಾಗಿಡದೆ ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಇವುಗಳ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ V ಯು ನಿರನಿಲದ ಆಲಯ. ಇದರೊಳಗೆ ಒಂದೇ ಒಂದು ಅರ್ಧ ಗೋಳಾಕಾರದ 'ಡೀ'ಯು ಇದ್ದಿತು (D).

ಇದಕ್ಕೂ ಹಿಂದಿನ ಮಾದರಿಗಳಿಗೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇನೆಂದರೆ:– ಇದರಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯ ನಿಯಂತ್ರಣದ (frequency modulation) ಮೂಲಕ ಕಣಗಳು ಸುತ್ತುವ ಪಥಗಳು ಗತಿ–ಭದ್ರ (phase-stable) ಗಳಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಗಿತ್ತು. ಸಾಪೇಕ್ಷ (relativity) ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಸಮೀಪವಾದಾಗ ಅವುಗಳ ಜಡಾಂಶವು ಅತ್ಯಧಿಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಅಧಿಕ ಜಡಾಂಶದಿಂದ ಅವುಗಳು ಸುತ್ತುವ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯು ಕಡಮೆಯಾಗಿ, ಈ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಹೊರಗಿನ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಆಂದೋಳನದ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಗಿಂತ ಹಿಂದೆ ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸರಿಪಡಿಸುವುದಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಹೊರಗಿನ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನೇ ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ನಿಯಂತ್ರಿಸಬೇಕಾದ ಆವಶ್ಯಕತೆಯು ಇರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಪೂರೈಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಸಿಂಕ್ರೋ – ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ, ಆದರಿಂದ

200 MeV ಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಪಡೆಯಲಾಯಿತು.

ಈಗ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶವು ಹೆಚ್ಚಾಗುವ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವಂತೆ, ಮತ್ತೊಂದು ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಪ್ರೇರೇಪಿತ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷದ ಮೂಲಕ ಅತ್ಯಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡಲು ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್ (Beta-tron) ಯಂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು. ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಇದನ್ನು 1941 ರಲ್ಲಿ ಇಲ್ಲಿನಾಯ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಕರ್ಸ್ಟ್ (Kerst) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಬಳಕೆಗೆ ತಂದನು. ಇದರ ಸ್ಥೂಲ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಚಿತ್ರ 3.6 ರ ನಿರೂಪಣೆಯಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 3.6 ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್

M_1–M_2 ಗಳು ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನಿಂದ (A. C. high voltage) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗುತ್ತಿರುವ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳು (pole-pieces). ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಉಂಗುರದ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ರಚಿಸಿರುವ ಒಂದು ನಿರನಿಲ ನಾಳಿಕೆ (V) ಯನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದೆ. ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತಕ್ಕೆ ಒದಗಿಸುವ ಪರ್ಯಾಯ (A.C) ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದು ಅದರ ಆವರ್ತಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದು ಸೆಕಂಡಿಗೆ ಸುಮಾರು 60 ಇರಬಹುದು. ಚಿತ್ರ (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಈ ನಿರನಿಲ ನಾಳಿಕೆಗೆ I ಎಂಬ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಪೂರಕ ಸಾಧನದಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಾಧನದೊಳಗೆ F ಎಂಬ ಲೋಹದ ತಂತುವಿನ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಕಳುಹಿಸುವುದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಕೇಂದ್ರೀಕರಿಸುವಂತೆ ಒಂದು ಜಾಲಕ (G) [grid]ವೂ ಆದರಿಂದಾಚೆಗೆ ಒಂದು ಲೋಹದ ತಟ್ಟೆ (P) ಯೂ ಇರುತ್ತವೆ. P ಮತ್ತು F ಗಳ ನಡುವೆ ಪ್ರಬಲ

ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು ಏರ್ಪಡಿಸಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು F ನಿಂದ ನಿರನಿಲ ನಾಳಿಕೆ (V) ಯೊಳಗೆ ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿರುವ ಪರ್ಯಾಯ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ (alternating magnetic field) ಎರಡು ಪರಿಣಾಮಗಳು ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ (X) ಸುತ್ತುವಾಗ, ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ, ಕೇಂದ್ರಾಭಿಮುಖವಾದ ಒಂದು ಬಲವೂ, ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತಿರುವ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಪ್ರೇರೇಪಿತವಾಗುವ (induced e.m.f.)ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಶಕ್ತಿಯ ವೃದ್ಧಿಯೂ ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ. ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಅಳವಡಿಸುವುದರಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಸುತ್ತುವ ಪಥಗಳು ಸುಭದ್ರ (stable) ವಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಅಂದರೆ ಅವುಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯವು ಬದಲಾಯಿಸದೆ ನಿಯತವಾಗಿರುತ್ತದೆ (constant radius). ಈ ನಿಯತ ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಮಾಣವು ಏರುತ್ತಿರುವಾಗ, ಲಕ್ಷಾಂತರ ಆವೃತ್ತಿಗಳನ್ನು ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ವರ್ತುಲ ಪಥವನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಸ್ಪರ್ಶಕ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಹೊರಟು I ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ P ತಟ್ಟೆಯ ಹೊರಭಾಗವನ್ನು ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಬಹಳ ಪ್ರಬಲ ಶಕ್ತಿಯ X–ಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು γ–ಕಿರಣಗಳೆಂದೇ ಭಾವಿಸಬಹುದು.

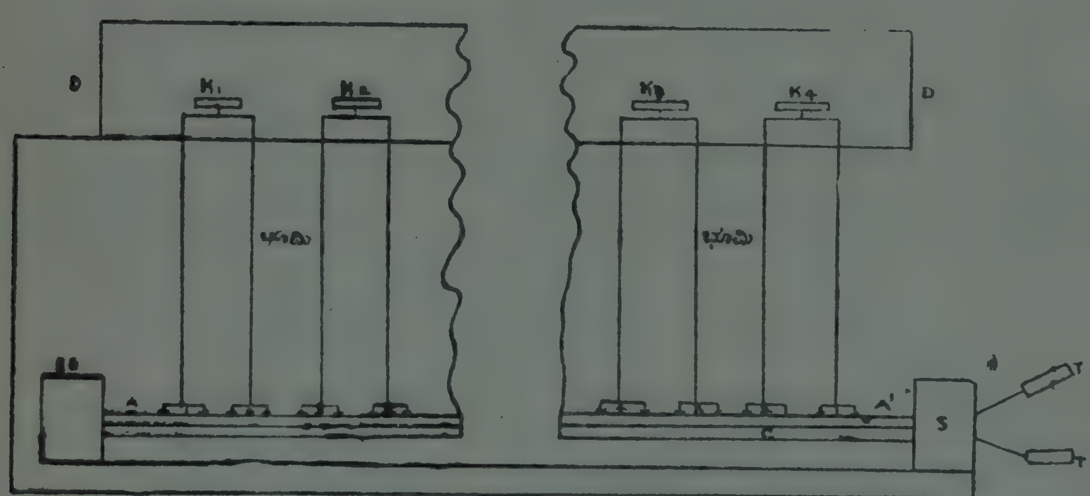
ಇಂಥ ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್ ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಸುಮಾರು 100 MeV ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿರುತ್ತದೆ. 500 MeV ವರೆಗೆ ಹೋಗಲು ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಈ γ–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದ ಮೇಲೆ ಅವುಗಳನ್ನು ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ವ್ರಣವ್ಯಾಧಿ (cancer) ನಿವಾರಣಕ್ಕಾಗಿಯೂ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಇಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಮೀಸಾನ್ (mesons) ಗಳನ್ನೂ ಉತ್ಪಾದಿಸಬಹುದು.

ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸಿಂಕ್ರೋಟ್ರಾನ್ (ಬೀವಟ್ರಾನ್)

ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್‌ನಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿರುವ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟು ಅವುಗಳನ್ನು ಸುಭದ್ರ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಂತೆ ಮಾಡುವುದರ ಮೂಲಕ 1000 ದಶಲಕ್ಷ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುವಂತೆ (1 BeV = 1000 MeV) ಬೀವಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ. ಅಮೆರಿಕದಲ್ಲಿರುವ ಕಾಸ್ಮೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ 3000 MeV (3 BeV) ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ, ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆ.

ರೇಖಾತ್ಮಕ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಯಂತ್ರ (linear accelerator)

ಮೇಲಿನ ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಕಣಗಳು ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ ಅತ್ಯಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತವೆಂದು ತಿಳಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಆದರೆ, ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ಟಾನ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿರುವ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಒಂದೇ ನೇರದಲ್ಲಿ ರೇಖಾತ್ಮಕವಾಗಿ ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ಹೋಗುತ್ತಿರುವಾಗ, ಹಲವಾರು ಒತ್ತುವಿಕೆಗಳಿಂದ (pulses) ಉತ್ತೇಜಿತಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಇದರ ರಚನೆಯು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ತಂತ್ರಗಳ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮಹತ್ತಾದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿರುತ್ತದೆಂಬುದು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಚಿತ್ರ 3.7 ರ ವಿವರಗಳಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 3.7 ರೇಖಾತ್ಮಕ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಉಪಕರಣ

ಇದರಲ್ಲಿ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಕ್ಕೆ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ನಾಳಿಕೆಯು ಒಂದು ತಾಮ್ರದ ಕೊಳಾಯಿ ರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದು, ಇದನ್ನು ಭೂಮಿಯ ಕೆಳಗೆ ಸುಭದ್ರವಾದ ಕಾಂಕ್ರೀಟ್‌ನಿಂದ ಆವರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಆವರಣದೊಳಗೆ ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಇದನ್ನು AA^1 ಎಂದು ತೋರಿಸಿದೆ. ಇದರ ವ್ಯಾಸವು 10 ಸೆಂ.ಮೀ.; ಉದ್ದವು ಸುಮಾರು ಎರಡು ಮೈಲಿಗಳಷ್ಟು ಇರುತ್ತದೆ. 960 ಹತ್ತು ಅಡಿಯ ತುಂಡುಗಳನ್ನು ಜೋಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳೆಲ್ಲವನ್ನೂ ದೂರ ನಿಯಂತ್ರಣ ಸಾಧನಗಳಿಂದಲೂ ಶೀತಲ ವಿಧಾನಗಳಿಂದಲೂ ನಿಯಂತ್ರಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕೊಳಾಯನ್ನು ಪೂರ್ತ ನಿರನಿಲಗೊಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಭೂಮಿಯ ಮೇಲ್ಗಡೆ 25 ಅಡಿಗಳ ಎತ್ತರದ ಮತ್ತೊಂದು ಉದ್ದವಾದ (ತಾಮ್ರದ ಕೊಳಾಯಿಗೆ ಸಮಾನಾಂತರವಾಗಿರುವಂತೆ) ಕಟ್ಟಡವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ ಅದನ್ನು D–D ಎಂದು ನಿರೂಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಉದ್ದಕ್ಕೂ 240 ಕ್ಲಿಸ್ಟ್ರಾನ್ (klystron) ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು (K_1, K_2, K_3, K_4.......) ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಿಂದ ರೇಡಿಯೋ ತುಣುಕು

ಅಲೆಗಳು (radio micro waves) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಿಂದ ಸೂಕ್ತ ಉಪಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಅಲೆಗಳನ್ನು (A A[1]) ಕೊಳಾಯಿಯ ವಿವಿಧ ಶಾಖೆಗಳಿಗೆ ಒಯ್ಯಲಾಗುತ್ತದೆ.

A A[1] ಕೊಳಾಯಿನೊಳಕ್ಕೆ E G ಎಂಬ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತುಪಾಕಿ (electron-gun) ಯಿಂದ ಚಿಮ್ಮುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಎರಡು ಮೈಲಿಗಳ ಉದ್ದಕ್ಕೂ ಅಲೆಗಳ ಶಿಖರಗಳ ಮೇಲೆ ವಹನಗೊಳ್ಳುವಾಗ, ಕ್ರಮೇಣ ಶಕ್ತಿಯ ವೃದ್ಧಿಯನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತವೆ. ಅಲೆಗಳ ವೇಗವು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಸಮನಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಅಡ್ಡಡ್ಡಲಾಗಿ ಗುಂಡು ಬಿಲ್ಲೆಗಳನ್ನು (discs) ಸ್ಥಾಪಿಸಿರುವುದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ರೇಖಾಪಥವು ಸುಮಾರು 2 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳಿಗೆ ಸೀಮಿತವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ವಹನವಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸಮೂಹಗಳು ಕೊಳಾಯಿಯ ಮೂಲಕ ಅದರ ಕೊನೆ (A[1]) ಯಲ್ಲಿ ಜೋಡಿಸಿರುವ S ಆವರಣದೊಳಗೆ ಪ್ರವೇಶಿಸಿ ಅಲ್ಲಿಂದ T_1, T_1 ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಲಕ್ಷ್ಯ ಕಟ್ಟಡಗಳಿಗೆ (target buildings) ಹೋಗುತ್ತವೆ. S ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದ ಬಾಗಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಕಣಗಳು T_1, T_1 ಭವನಗಳಲ್ಲಿ ಲಕ್ಷ್ಯಗಳನ್ನು ಘರ್ಷಣೆಮಾಡುವುದರಿಂದ ಮುಂದಿನ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಾಗುತ್ತವೆ.

ಈ ಬೃಹತ್ ಸಾಧನದಿಂದ ಕಣಗಳು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷ ಹೊಂದಿ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಪಡೆಯುವ ಶಕ್ತಿಯು 30 BeV ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡುವ ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ, ಕಣ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷದ ಪಾತ್ರವು ಖಗೋಳ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞನಿಗೆ ದೂರ ದರ್ಶಕ ಯಂತ್ರವು ಇರುವಂತಿದೆ. ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕವು ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚು ಗಾತ್ರವನ್ನು ಹೊಂದಿದಷ್ಟೂ, ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವೂ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ತಂತ್ರ ವಿಜ್ಞಾನವು ಎಷ್ಟು ದೂರ ಮುಂದುವರಿದಿದೆಯೆಂಬುದಕ್ಕೆ 1919 ರಲ್ಲಿ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣಕ್ಕೂ ಇತ್ತೀಚಿನವರೆಗೆ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ರೇಖಾತ್ಮಕ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಯಂತ್ರಕ್ಕೂ ನಡುವೆ ನಡೆದಿರುವ ಅಪಾರವಾದ ಪ್ರಗತಿಯೇ ನಿದರ್ಶನವಾಗಿದೆ.

ಈಗ, ಈ ಬೀಜ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಿರಣಗಳು ಮತ್ತು ಇತರ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ನಿರ್ದೇಶಿಸಲು ಹಲವಾರು ಮಾದರಿಗಳ ನಿರ್ದೇಶಕ ಸಾಧನಗಳು ಅವಶ್ಯವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖವಾದವನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

3.7 ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಯಂತ್ರೋಪಕರಣಗಳು

ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಸಾಮಗ್ರಿಗಳ ವಿಷಯವನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಎಷ್ಟು ಮುಖ್ಯವೋ ಆ ಘರ್ಷಣೆಗಳು ನಿಜವಾಗಿಯೂ ನಡೆದಿವೆಯೇ ಎಂಬುದನ್ನು ಖಚಿತ ಪಡಿಸಲು ಅವುಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳು ಮತ್ತು ಇತರ ವಸ್ತುಗಳು – ಇವುಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸುವುದೂ ಅಷ್ಟೇ ಪ್ರಮುಖವಾದ ವಿಷಯ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಹಲವಾರು ಮಾದರಿಗಳ ಯಂತ್ರಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವು ಆಗಿದೆ. ಇವುಗಳೆಲ್ಲದರ ಉಪಯೋಗವೇನೆಂದರೆ – ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಅವುಗಳ ವೇಗ ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ರಚನೆಗಳು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಕೆಲವು ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಕಣಗಳ ಬಿಡಿ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನೂ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಅಳೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಧಾನಗಳು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪ ಯೋಗದಲ್ಲಿದ್ದರೂ, ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಕೆಲವು ಹೊಸ ನಮೂನೆಯ ಉಪಕರಣಗಳು ರಚಿತವಾದುವು.

ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಈ ಸಣ್ಣ ಕಣಗಳನ್ನು ನಾವು ನೇರವಾಗಿ ನೋಡಲಾಗದಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳು ಮಧ್ಯವರ್ತಿಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿರುವ ಅಣುಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣ ಗಳನ್ನು (ions) ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ಕಣಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕೆಲವು ಕೇಂದ್ರಗಳ ಮೇಲೆ ಕೂಡುವ ಹಾಗೆ ಮಾಡಿದರೆ, ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿಯೇ ಅವುಗಳನ್ನು ಹಿಂಬಾಲಿಸುವಂತೆ ಜಾಡುಗಳು (trails) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಗುರುತುಗಳನ್ನು ರೇಖಾರೂಪವಾಗಿ ನಾವು ಛಾಯಾಚಿತ್ರ (photographs) ಗಳ ಮೂಲಕ ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಉದ್ದ, ಗಾತ್ರ ಮುಂತಾದ ಅಂಶಗಳಿಂದ ಮೂಲ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳ ವೇಗ, ಗಮನಮಾರ್ಗ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಯ ವಿಚಾರಗಳನ್ನು ತಿಳಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಬಾಹ್ಯ ವಸ್ತುಗಳ ಪ್ರತಿ ಬಿಂಬಗಳನ್ನು ನಾವು ನೋಡುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಪಥಗಳ ವೀಕ್ಷಣ ಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ತತ್ತ್ವವನ್ನಾ ಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಕೆಲವು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಉಪಕರಣಗಳು ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದವು ಹೀಗಿವೆ :

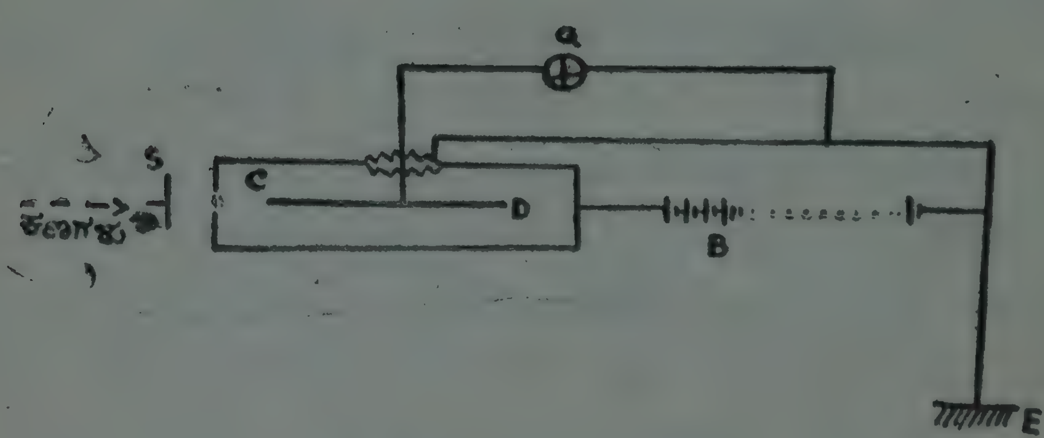
(i) ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣಾಲಯ (ionisation chamber)

(ii) ಗೈಗರ್ ಮಿಲ್ಲರ್ ಗಣಕ (Geiger Miller counter)
(iii) ಬಾಷ್ಪ ಸಮೂಹಾಲಯ (Wilson cloud chamber)
(iv) ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕದ ದ್ರವದ ಉಪಕರಣ
(photographic emulsion)
(v) ಬುದ್ಬುದ ಆಲಯ (bubble chamber)
(vi) ಕಿಡಿ ಆಲಯ (spark chamber)
(vii) ಸ್ಫುರಣ ಗಣಕ (scintillation counter)

ಇವುಗಳ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

3.8 ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣಾಲಯ (ionisation chamber)

ಸಾಧಾರಣವಾಗಿ ಅನಿಲಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕಗಳಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಸಾಗುವಂತಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಇವುಗಳ ಮೂಲಕ x – ಕಿರಣಗಳಾಗಲಿ, ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ α–β ಮುಂತಾದ ಕಿರಣಗಳಾಗಲಿ ಪ್ರವೇಶಿಸಿದರೆ, ಆ ಅನಿಲಗಳ ಅಣುಗಳು ವಿಭಜನೆಹೊಂದಿ ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎರಡು ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳಾಗಿ ಬೇರ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಈ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯುವುದರ ಮೂಲಕ ಮೂಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ತಿಳಿಯಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದಾದ ಉಪಕರಣದ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಚಿತ್ರ (3.8)ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 3.8 ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣಾಲಯ

A ಎಂಬುದು ಒಂದು ಲೋಹದ ಟೊಳ್ಳು ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿ. ಇದು ಎರಡು ಕೊನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಮುಚ್ಚಿದ್ದು ಒಂದು ಕಡೆ ಮಾತ್ರ (s) ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಕಿಟಕಿಯ

ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ತೆಳುವಾದ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಪದರವಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಮೂಲಕ ವೀಕ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಪಟ್ಟ ಕಿರಣಗಳು ಸುಲಭವಾಗಿ ಪ್ರವೇಶಿಸಬಹುದು. ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯ ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ C D ಎಂಬ ಒಂದು ಉದ್ದವಾದ ಲೋಹದ ಸರಳು ಇರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೂ ಹೊರಗಿನ ಲೋಹದ ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಗೂ ಸಂಬಂಧವಿರದಂತೆ R ಎಂಬ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕ ಬಿರಡೆ (guard-ring) ಇದ್ದು ಇದನ್ನು ಭೂಮಿಗೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸ ಬಹುದು. C D ಸರಳಿಗೂ, A ಗೂ ನಡುವೆ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರ ವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವಂತೆ B ಎಂಬ ಬೃಹತ್ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶವಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಸಾವಿರಾರು ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಈಗ C D ಯನ್ನು R ಮೂಲಕ Q ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕ (electrometer) ದ ಒಂದು ಭಾಗಕ್ಕೆ ಬಂಧಿಸಿರುತ್ತದೆ.

ಈಗ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳನ್ನು ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯೊಳಗೆ ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿಸಿದರೆ, ಅದರೊಳಗಿರುವ ಅನಿಲದ ಅಣುಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭಜನೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಒಳಗಿರುವ ಅನಿಲದ ರೂಪವನ್ನು ನಾವು ವೀಕ್ಷಿಸಬೇಕೆಂದಿರುವ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕು. α–ಕಿರಣ ಗಳಿಗಾದರೆ, ಅನಿಲವು ಸಾಮಾನ್ಯದ ಒತ್ತಡದ ಗಾಳಿಯಾಗಿಯೇ ಇರಬಹುದು. β ಮತ್ತು γ–ಕಿರಣಗಳು ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದವಾದುದರಿಂದ, ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯ ಉದ್ದವೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು. ಗಾಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ, ಮಿಥೈಲ್ ಅಯೊಡೈಡ್‌ನಂತಹ ಅನಿಲ ವನ್ನು 40–50 ವಾಯುಮಾನಗಳ ಒತ್ತಡದಲ್ಲಿಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಈ ಆಲಯದೊಳಗೆ ಪ್ರವೇಶಿಸಿದ ಮೇಲೆ, ಅದರಲ್ಲಿರುವ ಅಣುಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಇವುಗಳು ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವುದರಿಂದ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಏರ್ಪಟ್ಟು ಇದನ್ನು Q ಮಾಪಕದಿಂದ ಅಳೆಯಬಹುದು. ಈ ಪ್ರವಾಹದ ಪ್ರಮಾಣವು ಅತಿ ದುರ್ಬಲವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಶಕ್ತಿವರ್ಧಕ ಸಾಧನಗಳೊಂದಿಗೆ ಜೋಡಿ ಸಿದರೆ, ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಕೂಡ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬಹುದು.

ವಿವಿಧ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಒಂದು ಸೆಂ.ಮೀ. ಉದ್ದದ ಗಾಳಿಯ ಮೂಲಕ ಚಲಿಸುವಾಗ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳ ದ್ವಂದ್ವಗಳು (ion-pairs) ಕೆಳ ಗಿನ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಕಾಣುತ್ತದೆ.

	ಅತಿವೇಗ	ಕಡಮೆವೇಗ
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು (–)	(ಸುಮಾರು) 45	200
ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು (+)	,, 3,200	15,000 ವರೆಗೆ
α–ಕಣಗಳು (+)	,, 20,000	75,000 ವರೆಗೆ

ಇದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ, α–ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು, ಕಡಮೆ ವೇಗಗಳಲ್ಲಿ ಇದು ಇನ್ನೂ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ.

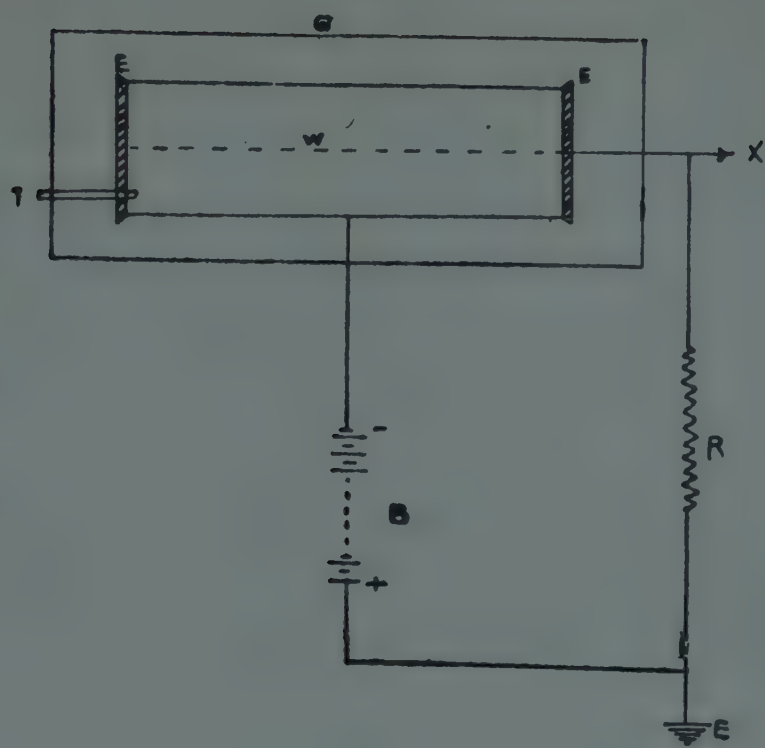
ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅಳೆಯುವುದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಪ್ರಮಾಣದಿಂದ, ಮೂಲ ಕಣಗಳ ಸ್ವರೂಪ ಮತ್ತು ವೇಗಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

3.9 ಗೈಗರ್-ಮುಲರ್ ಗಣಕ

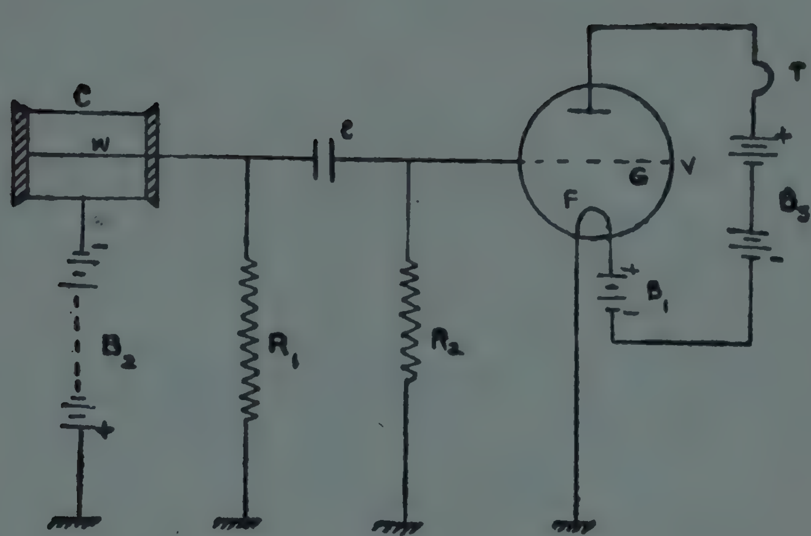
ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ α–ಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪದ ವಿಷಯವನ್ನು ಪ್ರಸ್ತಾಪ ಮಾಡುವಾಗ ಅವುಗಳನ್ನು ಬಿಡಿ ಬಿಡಿ ಕಣಗಳಂತೆ ಎಣಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವ ಗಣಕಗಳ (counters) ವಿಚಾರವನ್ನು ಸೂಚಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಇಂಥ ಒಂದು ಸಾಧನವು ಗೈಗರ್-ಮುಲರ್ ಗಣಕ. ಇದು ಹಲವಾರು ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗವಾಗುವುದರಿಂದ ಇದರ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಪ್ರಯೋಜನಗಳನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು. ಈ ಸಾಧನವನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ರಚಿಸಿ ಅದರೊಂದಿಗೆ ಕೆಲವು ಶಕ್ತಿವರ್ಧಕ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ಜೋಡಿಸುವುದರಿಂದ, ಅತಿ ಶೀಘ್ರವಾಗಿ ಒಂದರ ಹಿಂದೆ ಒಂದು ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ (quick sequence) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಎಣಿಸಬಹುದು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಅವುಗಳ ಆಗಮನವನ್ನು ಸೂಚಿಸುವಂತೆ, ಸೂಕ್ಷ್ಮ ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ರಚಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, ಒಂದೊಂದು ಸ್ಫುರಣವಾದಾಗ (impulses) ಒಂದೊಂದು ಕ್ಲಿಕ್ ಶಬ್ದವು ಕಿವಿಯಲ್ಲಿ ಕೇಳಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಒಂದು ನಿಮಿಷದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 3,000 ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ಎಣಿಸಬಹುದಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ಗಣಗಳ ರಚನೆಯ ಸ್ಥೂಲ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಮುಂದಿನ ಪುಟದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಚಿತ್ರ 3.9 a ಮತ್ತು b ಚಿತ್ರಗಳಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

M ಎಂಬುದು ಒಂದು ಹಿತ್ತಾಳೆ ಅಥವಾ ನಿಕ್ಕಲ್ ಲೋಹದ ನಾಳಿಕೆ. ಇದರ ಅಗಲ ಸುಮಾರು 2 ಅಂಗುಲ, ಉದ್ದ ಸುಮಾರು 20 ಅಂಗುಲಗಳಾಗಿದ್ದು ಇದನ್ನು ಆವರಿಸುವಂತೆ ಹೊರಗಿನ ಗಾಜು ನಾಳಿಕೆ G ಇರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಮೂಲಕ ಒಳ ನಾಳಿಕೆಯೊಳಗೆ ಹೋಗುವ ಲೋಹದ ಧ್ರುವಗಳನ್ನು ಬಂಧಿಸಬಹುದು. ನಾಳಿಕೆಯ ಒಳಗೆ ಇರುವ ಗಾಳಿಯನ್ನೆಲ್ಲ ತೆಗೆದು ಹೊರಗಿನ ನಾಳಿಕೆ T ಯಿಂದ ನಮಗೆ ಬೇಕಾದ ಅನಿಲವನ್ನು ಗೊತ್ತಾದ ಒತ್ತಡದಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡುವಂತೆ ಮಾಡಿ ಅದನ್ನು ಮೊಹರ್ ಮಾಡಬಹುದು. ನಾಳಿಕೆಯ ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು ½ ಮಿ.ಮೀ. ದಪ್ಪದ ಟಂಗ್‌ಸ್ಟನ್ ಲೋಹದ ತಂತಿಯನ್ನು ಉದ್ದಕ್ಕೂ ಅಳವಡಿಸಿ ಅದಕ್ಕೂ ಹೊರ



ಚಿತ್ರ 3.9 (a) ಗೈಗರ್-ಮುಲರ್ ಗಣಕ



ಚಿತ್ರ 3.9 (b) ಗೈಗರ್-ಮುಲರ್ ಗಣಕಕ್ಕೆ ಪ್ರವಾಹಮಾರ್ಗದ ಮಂಡಲ (circuit)

ನಾಳಿಕೆಗೂ ಯಾವ ಲೋಹ ಸಂಪರ್ಕವೂ ಇಲ್ಲದಂತೆ EE ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕ ಎಬನೈಟ್ (ebonite) ಬಿರಡೆಗಳಿಂದ ಭದ್ರವಾಗಿ ಬಿಗಿದಿರುತ್ತದೆ. ನಾಳಿಕೆಯ ಹೊರಭಾಗವನ್ನು B ಎಂಬ ಒಂದು ಬೃಹತ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ (high tension battery) ಋಣ ಧ್ರುವಕ್ಕೂ ಒಳಗಿನ W ತಂತಿಯನ್ನು R_1 ಎಂಬ ಒಂದು ಪ್ರತಿರೋಧ (high resistance) ದ ಮೂಲಕ ಬಂಧಿಸಿರುತ್ತದೆ.

ಈಗ ಒಳಗಿನ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಗಾಳಿ, ಜಲಜನಕ, ಆರ್ಗಾನ್ ಮುಂತಾದ ಸೂಕ್ತವಾದ ಅನಿಲವನ್ನು ಸುಮಾರು 10 ಸೆಂ.ಮೀ. ಒತ್ತಡದಲ್ಲಿಟ್ಟರೆ, ಹೊರಗಿನಿಂದ ಪ್ರವೇಶಿಸುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಒಳಗೆ ಹಾಯುವಾಗ ಅನಿಲದ ಅಣುಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣವಾಗಿ, ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ಅಪಾರ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗಿ, B ನಿಂದ ಬರುವ ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಬರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು X ಮೂಲಕ ಸಹಾಯಕ ಉಪಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಗೊತ್ತುಹಚ್ಚ ಬಹುದು. ಇದರ ವಿವರಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ 3.9 b ಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

ಉಪಕರಣದ ಗಾತ್ರ, ಒಳಗಿನ ಅನಿಲದ ಸ್ವರೂಪ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶಕ್ಕೆ ಇರಬೇಕಾದ ಸೂಕ್ತ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗಳನ್ನು ನಾವು ವೀಕ್ಷಿಸಬೇಕೆಂದಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

(i) γ– ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವಾಗ, ನಾಳಿಕೆಯು ದಪ್ಪ ಆವರಣ ಗಳಿಂದ ಆವೃತವಾಗಿರಬೇಕು. β– ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅವುಗಳನ್ನು ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಕಿಟಕಿಯ ಮೂಲಕ ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡಿಸಬಹುದು. ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು α–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ತೆಳುವಾದ ನಾಳಿಕೆಯಿದ್ದು ಒಳಗೆ ಅನಿಲವು ಸಾಮಾನ್ಯ ಒತ್ತಡದಲ್ಲಿರಬಹುದು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಜಲಜನಕದ ಅನಿಲವನ್ನು ತುಂಬ ಬಹುದು.

(ii) ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯವನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕಾದುದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಪ್ರಮಾಣ. ಒಂದೊಂದು ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮಾಡುವುದಕ್ಕೆ ಪೂರ್ವಭಾವಿಯಾಗಿ ಕೆಲವು ಮುನ್ಸೂಚನೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಬೇಕು. ಇದರ ಮಟ್ಟವು ಎಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕೆಂದರೆ, ನಾಳಿಕೆಯೊಳಗೆ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆ (discharge) ಪ್ರಾರಂಭಮಾಡಲು ಬೇಕಾದ ಉತ್ಕಟ ಪ್ರಮಾಣದ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರಬೇಕು (critical). ಈ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಒಂದೇ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವು ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿದರೂ ಕೂಡ, ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆಯು ಆರಂಭವಾಗಿ, ಕೆಲವು ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳ ದ್ವಂದ್ವ ಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಇವುಗಳೇ ಮತ್ತೆ ಹಲವಾರು ಅದೇ ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಒಂದು ಪ್ರಪಾತ (cascade) ದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಲಕ್ಷಾಂತರ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಇವುಗಳು ಮಧ್ಯದ ತಂತಿ (W) ಯನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಇದರಿಂದ ಉಂಟಾ ಗುವ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರದ ಇಳಿತವು ಗಣನೀಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಮಿಕ್ಕ ಸಾಧನ ಗಳಿಂದ ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಬಹುದು. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ B ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ವೋಲ್ಟೇಜ್

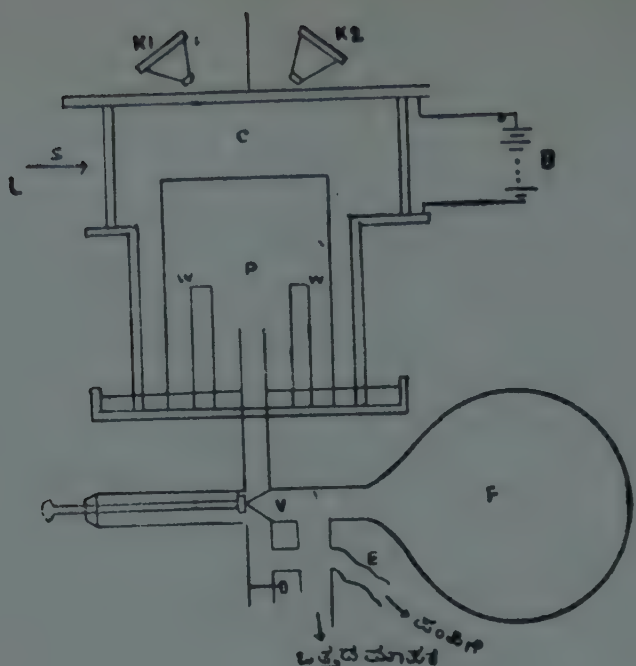
ಹಲವು ಸಾವಿರ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಷ್ಟು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಯಂತ್ರವನ್ನು ಎಲ್ಲ ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಗೂ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.

(iii) ಚಿತ್ರ 3.9 b ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ನಿರನಿಲನಾಳಿಕೆ (V) ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಂಡಲಗಳನ್ನು (vacuum tube circuits) ಅಳವಡಿಸಿದರೆ ಕಣಗಳನ್ನು ಬಿಡಿ ಬಿಡಿಯಾಗಿ ಎಣಿಸಿ ಅವುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಸಂಖ್ಯಾಗಣಕ (mechanical counter)ದ ಮೂಲಕ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಇವುಗಳನ್ನು T ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ದೂರವಾಣಿ (telephone) ಯ ಮೂಲಕ ಸ್ಫುರಣಗಳಂತೆ ಕೇಳಬಹುದು. ಚಿತ್ರ b ಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಪ್ರಕಾರ R_1,R_2 ಪ್ರತಿರೋಧಕಗಳು ಹಲವಾರು ಮೆಗ್ ಓಮ್ (megohms) ಗಳಷ್ಟು ಇರಬೇಕು. B_3 ಮತ್ತು B_2 ಗಳು ಹೆಚ್ಚು ವೋಲ್ಟೇಜಿನ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶಗಳು; B_1 ಮಾತ್ರ ಸುಮಾರು 4 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಷ್ಟು ಇರಬಹುದು. V ಎಂಬುದು ಒಂದು ಥರ್ಮಯಾನಿಕ್ ನಾಳಿಕೆ (thirmionic tube). ಇದರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚಿಸುವಂತೆ ನೇಹರ್ (Neher) ಮತ್ತು ಹಾರ್ಪರ್ (Harper) ಹಾಗೂ, ವಿನ್ ವಿಲ್ಲಿಯಂಸ್ (Wynn Williams) ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ, ಒಂದು ನಿಮಿಷಕ್ಕೆ ಸುಮಾರು 200,000 ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿದ್ದಾರೆ.

ಇಷ್ಟು ವೈವಿಧ್ಯದ ಗುಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಗೈಗರ್–ಮುಲರ್ ಗಣಕವು ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

3.10 ವಿಲ್ಸನ್ನಿನ ಬಾಷ್ಪಸಮೂಹಾಲಯದ ಉಪಕರಣ

ಆಧುನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಹಲವಾರು ಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿ ಮಹತ್ತಾದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿರುವ ಈ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಸಿ. ಟಿ. ಆರ್. ವಿಲ್ಸನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು 1912 ರಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಬಾಷ್ಪಮಂದಿರದೊಳಗೆ x–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಮಂಜು ಕವಿದು ಕೆಲವು ನಿಮಿಷಗಳ ಕಾಲದವರೆಗೂ ಇರುವುದನ್ನು ವಿಲ್ಸನ್ ಕಂಡ. ಇವಕ್ಕೆ ಕಾರಣವು x–ಕಿರಣಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ನೀರಿನ ಹನಿಗಳು ಆಸರೆ ಕೊಡುವುದೇ ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ತತ್ತ್ವ ಮತ್ತು ರಚನೆಯನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ಚಿತ್ರ 3.10 ರಿಂದ ಕಾಣಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 3.10 ವಿಲ್ಸನ್ ಬಾಷ್ಪಸಮೂಹಾಲಯ

C ಎಂಬುದು ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯ ಆಲಯ. ಈ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಧೂಳು ರಹಿತ ಗಾಳಿ, ಅದರೊಂದಿಗೆ ಸಂತುಷ್ಟ ನೀರಿನ ಹಬೆ (saturated water vapour) ಮಿಶ್ರವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಆವರಣದ ಮೇಲ್ಭಾಗ (G) ಮತ್ತು ಪಾರ್ಶ್ವಗಳು ಗಾಜಿನಿಂದ ಆವೃತವಾಗಿವೆ. ಈ ಆಲಯದ ಮೇಲ್ಭಾಗದಲ್ಲಿ P ಎಂಬ ಒಂದು ಚಲಿಸತಕ್ಕ ಆಡುಬೆಣೆ (piston) ಇರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದು ನಿಯಂತ್ರಣ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಥಟಕ್ಕನೆ ಇಳಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಆವರಣದಲ್ಲಿರುವ ಗಾಳಿಯು ಸವೋಷ್ಣ (adiabatic) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವಿಕಾಸ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. F ಎಂಬ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿರುವ ಗಾಳಿಯನ್ನು ತೆಗೆಯಲು ಒಂದು ಪಂಪ್ (E) ಗೆ ಸಂಪರ್ಕವಿದ್ದು P ಯೊಡನೆ ಒಂದು ಕವಾಟ (V) ದ ಮೂಲಕ ಸಂಬಂಧಿಸುವ ನಾಳಿಕೆಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಕವಾಟವು ತೆರೆದೊಡನೆ P ಯ ಕೆಳಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ ಗಾಳಿಯು F ಗೆ ನುಗ್ಗುವುದರಿಂದ, P ಯು ಥಟಕ್ಕನೆ ಇಳಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿ ಮೇಲ್ಭಾಗದ ಗಾಳಿಯು ವಿಕಾಸ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. W–W ಮರತುಂಡುಗಳಿಂದ P ಯ ಕೆಳಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ ಗಾಳಿಯ ಗಾತ್ರವು ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಆವರಣದ ಕೆಳಭಾಗದಲ್ಲಿ ನೀರಿರುವುದರಿಂದ ಅದಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡಿರುವ ನೀರಿನ ಹಬೆಯು ಸಂತುಷ್ಟವಾಗಿರಬೇಕು. P ಯನ್ನು ಕೆಳಕ್ಕೆ ಇಳಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಮೇಲಿನ ಗಾಳಿಯ ಗಾತ್ರದ ವಿಕಾಸವನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಉಂಟುಮಾಡಬಹುದು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಾಸವು 1.25–1.38 ಅವಧಿಯಲ್ಲಿದ್ದಿತು. ಗಾಳಿಗೆ ಬದಲು ಬೇರೆ ಅನಿಲವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಈ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕು.

P ಯ ಇಳಿತದಿಂದ ಗಾಳಿಯು (ಮತ್ತು ನೀರಿನ ಹಬೆಯು) ವಿಕಾಸ ಹೊಂದಿದ ತತ್‌ಕ್ಷಣದಲ್ಲಿಯೇ ವೀಕ್ಷಣಕ್ಕಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳನ್ನು ಮೇಲ್ಭಾಗದ ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿರುವ S ಕಿಟಕಿಯ ಮೂಲಕ ಒಳಗೆ ಪ್ರವೇಶಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ನೀರಿನ ಹನಿಗಳು ಅನಿಲದ ಅಣುವಿನ ವಿಭಜನೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕ ಕಣಗಳ ಮೇಲೆ ಆಸರೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಚಲನೆಯಿಂದ ಮೂಲ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳ ಮಾರ್ಗವು ಗುರುತು ಮಾಡಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಸಮಯ ದಲ್ಲಿಯೇ ಈ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಿಯುಳ್ಳ ದೀಪ (L) ದ ಬೆಳಕಿನಿಂದ ಬೆಳಗಿಸಿ, K_1,K_2 ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಎರಡು ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಗ್ರಾಹಕಗಳ ಮೂಲಕ ಇಡೀ ದೃಶ್ಯವನ್ನು ಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಿಯುಳ್ಳ ಪಾದರಸ ದೀಪಗಳ ಬೆಳಕನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಕ್ಯಾಮರಾಗಳ ಮೂಲಕ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ತೆಗೆಯಬಹುದು. ಈ ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪಕಾಲದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವುದರಿಂದ, ಪ್ರಯೋಗವು ಸಫಲವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಸ್ವಯಂ ನಿಯಂತ್ರಣ ತಾಂತ್ರಿಕ ಉಪಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ, ಗಾಳಿಯ ವಿಕಾಸ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳ ಪ್ರವೇಶ, ಉದ್ದೀಪನ, ಹನಿಗಳ ಮೇಲೆ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕಣಗಳು ಕುಳಿತು ಅವುಗಳ ಚಲನೆ ಮತ್ತು ಈ ದೃಶ್ಯದ ಚಿತ್ರೀಕರಣ ಎಲ್ಲವೂ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸೆಕಂಡಿನ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಭಾಗದ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ($\frac{1}{10}$ ಸೆಕಂಡ್) ನಡೆಯಬೇಕು. ಮತ್ತು ಇಂಥ ಘಟನೆಗಳು 30 ಸೆಕಂಡುಗಳ ಆವರ್ತದಲ್ಲಿ ಪುನಃ ಪುನಃ ನಡೆದು ಚಿತ್ರೀಕರಣವನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಬೇಕು. ಈ ಎಲ್ಲ ವಿಧಾನಗಳನ್ನೂ ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ನಿರ್ಮಿಸಲು ಹಲವಾರು ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳು ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಬ್ಲಾಕೆಟ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1932 ರಲ್ಲಿ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದಕ್ಕಾಗಿ, ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಗಣಕದಿಂದ ನಿಯಂತ್ರಣ ಮಾಡಿಸಿದನು (counter-controlled cloud chamber). ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಉಪಯೋಗವಾಗಲು, ವಿಸ್ತರಣ ಆಲಯ (diffusion chamber) ದ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಲ್ಯಾಂಗ್ಸ್‌ಡಾರ್ಫ್ (Langsdorf) 1939 ರಲ್ಲಿ ಉಪಕರಣವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು.

ಈ ಬಾಷ್ಪಸಮೂಹಾಲಯದ ಉಪಕರಣವು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಕಾಣಲೂ, ಅದಕ್ಕಿಂತ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ, ಅನಿಲ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಅತ್ಯಮೌಲ್ಯವಾದ ಸಾಧನವಾಗಿದೆ. ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುವ ವಸ್ತುವು ಘನರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಅದನ್ನೆಲ್ಲ ಈ ಉಪಕರಣದೊಳಗೆ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿಟ್ಟು ಅಳವಡಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ನೂರಾರು

ಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಘಟನೆಗಳ ನಿಜ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ತಿಳಿಯಲು ಅವಕಾಶ ವಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ಛಾಯಾಚಿತ್ರಗಳಿಂದ, ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವ ವಿವಿಧ ತುಂಡುಗಳ ಶಾಖೆಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ಕಣ್ಣಿಗೆ ಕಟ್ಟಿದಂತೆ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಬಹುದು. ಚಿತ್ರ 3.10 b ಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ α–ಕಣಗಳು ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿರುವ ಆಮ್ಲಜನಕ ಅಥವಾ ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವುದರ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಅವುಗಳ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಡೊಂಕು (kinks) ಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ.

ಪಥಗಳು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಹೇಗೆ ಬಾಗುತ್ತವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿದು ಆ ಬಾಗುವಿಕೆಯ ಪ್ರಮಾಣದಿಂದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. α–ಕಣಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪಥಗಳ ಗುರುತುಗಳು (tracks) ದಪ್ಪವಾಗಿಯೂ, β–ಕಿರಣಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಗುರುತುಗಳು ತೆಳುವಾಗಿಯೂ, ಕಾಣುವುದರಿಂದ, α–ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಶಕ್ತಿಯು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಸಾಧನದಿಂದಲೇ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯೂ ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲು ದೃಢಪಟ್ಟಿತು. ಈ ವಿಷಯವನ್ನು ಆಂಡರ್ಸನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಉಪಕರಣವು ಅತ್ಯಂತ ಉಪಯುಕ್ತವಾದ ಪ್ರಯೋಗಸಾಧನವಾಗಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

3.11 ಛಾಯಾ ಗ್ರಾಹಕ ಲೇಪದ್ರವಗಳ ವಿಧಾನ

ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ದೊಡ್ಡ ಹೆಜ್ಜೆಯು ಪಾವೆಲ್ (Powell) ಮತ್ತು ಓಕ್ಕಿಯಾಲಿನಿ (Ochialini) ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1947 ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದ ಛಾಯಾಚಿತ್ರದ ತಟ್ಟೆಗಳಲ್ಲಿ ಆಗುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಮುಂದುವರಿಯಿತು.

ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರಗಳಿಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ದ್ರವಗಳ ಲೇಪಗಳ ಮೇಲೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯು ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿರುವಂತೆಯೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಸಾಧಾರಣ ತಟ್ಟೆಗಳಲ್ಲಿರುವುದಕ್ಕಿಂತ ಈ ದ್ರವಗಳ ಲೇಪಗಳ ದಪ್ಪವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಅಂದರೆ ಸುಮಾರು 0.1 ಮಿ.ಮೀ. ಇರಬೇಕು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದ್ರವಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸು

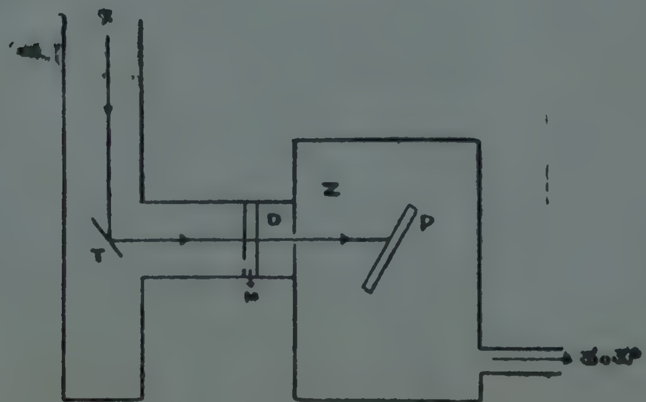
ವುದರ ಮೂಲಕ A,B,C,D – ಎಂಬ ವಿವಿಧ ರಚನೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕು. ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗೆ ಒಳಪಡುವ ದ್ರವದ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಹರಳು (grains) ಗಳ ಗಾತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಭೇದಗಳಿದ್ದು ಸುಮಾರು 0.5×10^{-4} ಸೆಂ.ಮೀ.ನಿಂದ 0.1×10^{-4} ಸೆಂ.ಮೀ. ವರೆಗೆ ಇರಬಹುದು. ಪ್ರೋಟಾನ್, α–ಕಿರಣಗಳು ಮುಂತಾದ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ತಟ್ಟೆಗಳನ್ನು ಆರಿಸಬೇಕು. ಈ ಕಿರಣಗಳು ಆ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಹರಳುಗಳ ಮೂಲಕ ಪ್ರವೇಶಿಸುವಾಗ ಅವುಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ ಯೆಂಬುದು ತಟ್ಟೆಗಳನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ಡೆವಲಪ್ (develop) ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ; ಬೆಳ್ಳಿಯ ಸಣ್ಣ ಕಪ್ಪುಹರಳುಗಳ ಪಥಗಳಾಗಿ ತಿಳಿದು ಬರುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರದ ಮಾದರಿಯ ರಚನೆಯಿರುವಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ.

ಈ ಪಥಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕಗಳ ಮೂಲಕ ಸುಮಾರು 1000, 2000 ಪಾಲು ದೊಡ್ಡದಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿಸಿ ಈ ಬೃಹತ್ಕೃತ (magnified) ಪ್ರತಿಬಿಂಬಗಳ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶೆಮಾಡಬಹುದು.

ಈ ಪಥಗಳ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿ, ವಿಶೇಷ ಪರಿಶ್ರಮವನ್ನೂ ಅನುಭವವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕಣಗಳ ಸ್ವರೂಪ, ವೇಗ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ವಿವರಗಳನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ತಿಳಿಯುತ್ತಾರೆ. ಇದರ ಸರಳತೆಯ ರಚನೆಯೂ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಕ್ರಿಯೆಗಳೂ ಮಿಕ್ಕ ಸಾಧನಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳು, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳು, ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮುಂತಾದ ಹಲವು ವಿಧವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಇದು ಅತ್ಯುಪಯುಕ್ತವಾದ ಸಾಧನವಾಗಿದೆ.

ಇದರ ಸರಳ ರಚನೆಯು ಚಿತ್ರ 3.11 ರಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ವಸ್ತು



ಚಿತ್ರ 3.11 ಪೋವೆಲ್ ಉಪಕರಣ

ಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳು – ಅಂದರೆ, ಹಿಂದಕ್ಕೆ ಸರಿಯುವ ಬೀಜಾಂಶ ಮತ್ತು ವೇಗವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಹಗುರ ಕಣ – ಮಾತ್ರ ಉತ್ಪನ್ನವಾದರೆ ಚಿತ್ರ 3.11 ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಉಪಕರಣವು ಉಪಯುಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. A ಭಾಗದಲ್ಲಿ XY ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವು T ಎಂಬ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು, ಅದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಹಗುರ ಕಣಗಳು (ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಾಗಿರಬಹುದು) YZ ಮಾರ್ಗವಾಗಿ, M ಎಂಬ ಒಂದು ಮೈಕಾ ಪದರದ ಮೂಲಕ ತಡೆಯಲ್ಪಟ್ಟು ಮುಂದಕ್ಕೆ ಸಾಗಿ D ಎಂಬ ಪರೆ (diaphragm) ಯ ಮೂಲಕ C ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಗ್ರಾಹಕದಲ್ಲಿರುವ P ತಟ್ಟೆಯ ಮೇಲೆ ಸಂಧಿಸುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಚಿತ್ರಿತವಾಗುತ್ತವೆ.

3.12 ಬುದ್ಬುದ (ಗುಳ್ಳೆ) ದ ಆಲಯ (Bubble chamber – Glaser)

1952 ರಲ್ಲಿ ಬ್ರೂಕ್‌ಹೇವನ್ ಸಂಶೋಧನಾಲಯದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ ಗ್ಲೇಸರ್ (Glaser) ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಬಾಷ್ಪಾಲಯ ಮತ್ತು ಛಾಯಾ ಗ್ರಾಹಕ ತಟ್ಟೆಗಳ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುತ್ತಿದ್ದ ಕೆಲವು ನ್ಯೂನತೆಗಳನ್ನು ಸರಿಪಡಿಸಲು ಈ ಹೊಸ ಉಪಕರಣವು ಸಹಾಯಕವಾಯಿತು; ಈ ಸಾಧನವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದಿದ್ದಕ್ಕಾಗಿ ಗ್ಲೇಸರ್‌ಗೆ ನೊಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕವು 1960 ರಲ್ಲಿ ಲಭಿಸಿತು.

ಬಾಷ್ಪಾಲಯ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಸಂತುಷ್ಟ ಬಾಷ್ಪವು ಘಟಕ್ಕನೆ ವಿಕಾಸಗೊಳ್ಳುವುದರ ಮೂಲಕ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದ್ರವದ ಬಿಂದುಗಳು ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳಿಗೆ ಆಸರೆಯಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳ ಮಾರ್ಗಪಥಗಳನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಪಥಗಳ ಚಿತ್ರೀಕರಣದಿಂದ ಮೂಲ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಆದರೆ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಇಂಥ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರವು ಅತಿ ವಿಳಂಬವಾಗುವುದರಿಂದ ಹಲವಾರು ಚಿತ್ರಗಳ ಆವಶ್ಯಕತೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಒಂದೇ ಒಂದು ಪಥದಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಬಹುದಾದರೆ, ಹೆಚ್ಚು ಉಪಯುಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡು ಗ್ಲೇಸರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ದ್ರವದಲ್ಲಿಯೇ ಗುಳ್ಳೆಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡಿಸಿ ಅದರ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕಣಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳಿಗೆ ಈ ದ್ರವದ ಗುಳ್ಳೆಗಳೇ ಕೇಂದ್ರಗಳಾಗಿ ನಿಂತು ಅವುಗಳು ಚಲನ ಮಾಡುವಾಗ ಆ ಮಾರ್ಗಪಥಗಳನ್ನು ರಚಿಸುತ್ತವೆಂಬ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ್ದಾನೆ.

ಮದ್ಯಸಾರವನ್ನು ತುಂಬಿದ ಒಂದು ಗಾಜಿನ ಲೋಟದ ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಬಿರುಸು (rough) ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಗುಳ್ಳೆಗಳಿರುವುದನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಿದ್ದಾಗ, ಗ್ಲೇಸರ್‌ಗೆ ಈ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಏಕೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬಾರದೆಂದು ಹೊಳೆಯಿತಂತೆ. ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ ಅವನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ದ್ರವವು ಅತಿ ತಪ್ತ (super-heated) ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಗಮನಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣವುಂಟಾಗಿ, ಈ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ದ್ರವದ ಗುಳ್ಳೆಗಳಿಗೆ ಕೇಂದ್ರಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಗುಳ್ಳೆಗಳು ಉದ್ಭವವಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಅವಕಾಶವುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂಭವವನ್ನು ಚಿತ್ರೀಕರಿಸಿದರೆ, ಮೂಲ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕಣಗಳ ವಿಚಾರವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಒಂದು ಸಾಧನವುಂಟಾಗಿದೆ. ಈಗ ಅವನ ಮೊದಲ ಪ್ರಯೋಗದ ಉಪಕರಣವನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗವು ಸಫಲವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ದ್ರವವು ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕವಾಗಿರಬೇಕು. ಹೀಗಾದರೆ ಮಾತ್ರ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ತಮ್ಮ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಉಳಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಆ ದ್ರವದ ಮೇಲ್ಮೈಕರ್ಷಕ ಬಲವು (surface tension) ಕಡಮೆಯಾಗಿರಬೇಕು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಗ್ಲೇಸರ್ ತನ್ನ ಮೊದಲ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಈಥರ್ (ether) ದ್ರವವನ್ನು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಗಾಜಿನ ಬಲ್ಬ್ (glass bulb) ನಲ್ಲಿಟ್ಟು ಅದನ್ನು 285°F ತಾಪಕ್ಕೆ ಏರಿಸಿ, ಅತಿ ತಪ್ತ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿದನು. ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಧಾನದಿಂದ ಒಳಗಿನ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಅತಿ ಶೀಘ್ರವಾಗಿ ಇಳಿಯುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಅದೇ ಕ್ಷಣದಲ್ಲಿಯೇ ಬಲ್ಬಿನ ಮೇಲೆ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಕೋಬಾಲ್ಟ್‌ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವಿಕಿರಣದ ಪ್ರಭಾವವಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿದನು. ದ್ರವದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸಂಭವಗಳನ್ನು ಅತಿವೇಗದ ಮೂವೀ ಚಿತ್ರ (high-speed photographs) ಗಳನ್ನು ತೆಗೆದನು. ಈ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಸಣ್ಣ ಬುದ್ಬುದ (tiny bubbles) ಗಳ ಚಲನ ಪಥಗಳು ಕಂಡು ಬಂದುವು. ಇದನ್ನೇ ಮುಂದುವರಿಸಿ, ಹಲವಾರು ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ವಿದ್ಯುದಂಶ ಕಣಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಬಹಳ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಯಂತ್ರಗಳಿಂದ ಬರುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸಲು ಅವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಒಂದು ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಡ್ಯೂರಾಲ್ಮಿನ್ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ 3″×2″ ಆಯದ ಪಾತ್ರೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಅದಕ್ಕೆ ಗಾಜಿನ ಕಿಟಕಿಗಳನ್ನು ಇಟ್ಟು ಅದರೊಳಗೆ ಪೆಂಟೇನ್ ದ್ರವವನ್ನು ಅತಿ ತಪ್ತ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಟ್ಟು ಅತ್ಯುಪಯುಕ್ತವಾದ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ತೆಗೆದನು.

ಮತ್ತೊಂದು ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ದ್ರವರೂಪದ ಜಲಜನಕವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸ

ಲಾಯಿತು. ಇದು ಸಾಮಾನ್ಯ ಒತ್ತಡದಲ್ಲಿ 20°A (−253°C) ತಾಪದಲ್ಲಿ ಕುದಿಯುವುದರಿಂದ, ಇದನ್ನು 5 ವಾಯುಮಾನಗಳ ಒತ್ತಡಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, 27°A ತಾಪಕ್ಕೆ ಏರಿಸಿದಾಗ ಅತಿ ತಪ್ತ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಆಗ, ಒತ್ತಡವನ್ನು ಅತಿ ಶೀಘ್ರವಾಗಿ ಇಳಿಸಿದರೆ, ಬುದ್ಬುದಗಳು (bubbles) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಅವುಗಳು ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳನ್ನು ಆಸರೆಯಾಗಿ ಹೊಂದಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ತೆಗೆಯಬಹುದು. ಈ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಕಾಲದ ಅಂತರವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರುವುದರಿಂದ (1 ಸೆಕಂಡಿಗಿಂತ ಕಡಮೆ) ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯುತ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಯಂತ್ರಗಳೊಡನೆ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಸಹಕಾರಿಯಾಗುತ್ತದೆ.

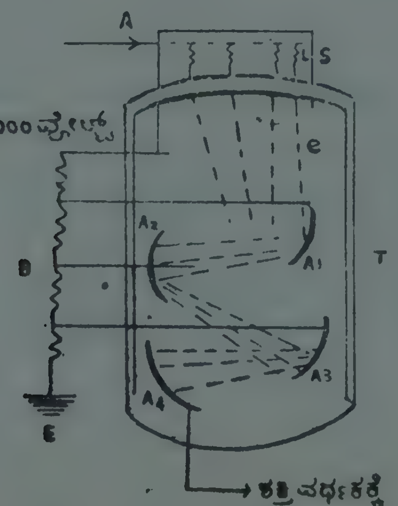
3.13 ಕಿಡಿ ಆಲಯ (Spark chamber)

ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಉಪಯುಕ್ತ ಸಾಧನವು ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ವೀಕ್ಷಣಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ಕಿಡಿ ಆಲಯದ ವಿಧಾನವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದರ ತತ್ತ್ವವು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ. ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣಗಳು ಇರುವಾಗ, ಅವುಗಳು ಇಲ್ಲದೆ ಇರುವ ಸ್ಥಿತಿಗಿಂತ, ಆ ಅನಿಲಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುತ್ ವಹನ ಶಕ್ತಿಯು ಇರುತ್ತದೆ. ಈಗ ಎರಡು ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಗಾಳಿಯನ್ನು ಅತಿಪ್ರಬಲವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, ಆ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಬಲದ ಮಟ್ಟವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕ ಶಕ್ತಿಯು ಮುರಿಯಲು ಬೇಕಾದ ಮಟ್ಟಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಕಡಮೆಯಿರುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಆ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಹೊರಗಿನಿಂದ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಕಣವು ಆ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದರೆ, ಆ ಒತ್ತಡದಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಕಣ (ions) ಗಳ ಹಾದಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಉಂಟಾಗಿ, ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಿಡಿ (spark) ಯ ಪಥವನ್ನು ನಾವು ಕಾಣಬಹುದಾಗಿದೆ. ಹೊರಗಿನಿಂದ ಪ್ರವೇಶಿಸಿದ ಕಣಗಳು ಬಂದ ನಂತರ ಈ ಕಿಡಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದಾಗಿ, ಈ ವಿಧಾನದಿಂದ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಹಲವು ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನು ಮಾಡಿರುವ ವಿಧಾನಗಳು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಎರಡೇ ಎರಡು ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಕಿಡಿಯನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುವುದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಹಲವು ಇಂಥ ಅಂತರಗಳನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಶ್ರೇಣಿ (series) ಯಂತಿರುವ ಈ ಲೋಹದ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಉಂಟಾಗುವ ಕಿಡಿಗಳ ಪಥಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಧವಾದ ಒಂದು ಉಪಕರಣದ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ನಿಯಾನ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ನಿಯಾನ್ ಅನಿಲದ ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ಉಂಟಾಗುವ ಘರ್ಷಣ

ಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಪ್ರಬಲ ಕಿಡಿಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಅವುಗಳ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ತೆಗೆಯಲಾಯಿತು.

3.14 ಸ್ಫುರಣ ಗಣಕಗಳು (Scintillation counters)

α–ಕಣಗಳನ್ನು ಎಣಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವಂತೆ ಮತ್ತೊಂದು ಉಪಕರಣವನ್ನೂ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಇದರಲ್ಲಿ ZnS ಲೇಪ ಮಾಡಿದ ಒಂದು ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ α–ಕಿರಣಗಳು ಬಿದ್ದರೆ, ಸ್ಫುರಣ (scintillations) ಗಳುಂಟಾಗಿ ಅದು ಮಿನುಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ಫುರಣ ವಸ್ತುವಿನ ಜಾಲಕ ರಚನೆಯ (lattice structure) ಮೇಲೆ α–ಕಿರಣಗಳು ಘರ್ಷಣಮಾಡಿದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಉದ್ರಿಕ್ತ (excited) ವಾಗಿ ಒಂದು ಹೊಸ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯು ಏರ್ಪಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವು ಬೆಳಕಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಉತ್ಸರ್ಜನವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ದ್ಯುತಿ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಸಾಧನದ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಬಹುದು. ಈ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ (photo-electric effect) ಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷದಿಂದ ಚಲಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಹಲವು ಹಂತ (stages) ಗಳಲ್ಲಿ ವೃದ್ಧಿ ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ಎಲ್ಲ ವಿಧಾನಗಳೂ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ (10^{-8} ಸೆಕಂಡ್) ನಡೆದು ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಆಂದೋಳನ ಲೇಖಕ ತೆರೆ (oscilloscope screen) ಯ ಮೇಲೆ ನಿದರ್ಶಿಸಬಹುದು. ಈ ನವೀನ ಸಾಧನದ ಚಿತ್ರವನ್ನು (3.12) ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ. ಇದನ್ನು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವರ್ಧಕ ಸಾಧನ (photo-multiplier tube) ವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 3.12 ಸ್ಫುರಣ ಗಣಕ (Scintillation counter)

ಈ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದು ಸ್ಫುರಣ

ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡುವುದು (S). α–ಕಣಗಳು A ಎಂಬ ಮಾರ್ಗದಿಂದ ಈ ಆವರಣವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿ, ಇದರಲ್ಲಿರುವ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ಲೇಪದ ವಸ್ತು (ZnS) ವಿನ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಅದರಿಂದ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಡಿಸುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು L ಎಂದು ತೋರಿಸಿದೆ. ಈ ದ್ಯುತಿ ಕಣಗಳು T ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿ ಅಲ್ಲಿರುವ C ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ (photo-sensitive surface) ದ ಮೇಲ್ಮೈಯ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಅದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜನ ಮಾಡಿಸುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಬೆಳಕಿನಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುತ್ತದೆ. 'e' ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಮೂಹವು ಕ್ರಮವಾಗಿ A_1, A_2, A_3, A_4 ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವಗಳ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಹಂತ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. C ಎಂಬುದನ್ನು ಒಂದು ಬೃಹತ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶ (1000 ವೋಲ್ಟ್)ದ ಋಣ (–) ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಮಾಡಿಸಿದರೆ, C ಒಂದು ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವ (cathode) ವಾಗುತ್ತದೆ. A_1, A_2 ಗಳನ್ನು ಕ್ರಮ ವಾಗಿ ವೃದ್ಧಿಯಾಗುವ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಧ್ರುವಗಳಿಗೆ ಸಂಪರ್ಕ ವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗುವುದರಿಂದ, C ಯ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಒಂದೊಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು A_1 ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ಕಣ ಗಳನ್ನು ವೃದ್ಧಿಮಾಡಿಸುತ್ತದೆ. ಮತ್ತೆ ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಕರ್ಷಹೊಂದಿದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸಮೂಹಗಳು ಕೊನೆಯ ಹಂತ (A_4) ದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಬಹು ಗುಣ (multiplied) ವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಮತ್ತೆ ಹೆಚ್ಚು ಮಾಡಲು ಒಂದು ಬಲವರ್ಧಕ (amplifier) ಸಾಧಕಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಮಾಡಿಸಿ ಅಂತಿಮ ವಾಗಿ ಒಂದು ಆಂದೋಳಕ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ (oscilloscope screen) ಸ್ಫುರಣ ಗಳನ್ನು ನೇರವಾಗಿ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಬಹುದು.

ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ಉಪಯೋಗವಾಗುವ ಕೆಲವು ತಾಂತ್ರಿಕ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದ್ದಾಯಿತು. ಇನ್ನು ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಅಧ್ಯಾಯ 4

ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ

4.1 ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪರಿಶೀಲನೆಯ ಆವಶ್ಯಕತೆ ಮತ್ತು ಪ್ರಯೋಜನಗಳು

1932 ಕ್ಕೆ ಹಿಂದೆ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾದ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳನ್ನು ಹಲವಾರು ವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ ಅವುಗಳ ಬೀಜಾಂಶ ಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳನ್ನೆಲ್ಲ (α,p) ಮಾದರಿಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α–ಕಿರಣ ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆದಿದ್ದುವು. ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಹಲವಾರು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸ ಲಾಗುತ್ತಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಡ್ಯೂಟರಾನ್, ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ವಿಶೇಷವಾದ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿವೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲವಾಗಿಯೇ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು ಅದರ ಪ್ರಭಾವವು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಕಂಡು ಬರುತ್ತಿದೆ.

ಈ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾಗುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಮುಖ್ಯ ಧ್ಯೇಯಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ: (1) ರಸಾಯನಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಗಳು ಭಾಗವಹಿಸುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ತಿಳಿಯುತ್ತೇವೆ. (2) ಆಧುನಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿರುವ ಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಪರಸ್ಪರ ಬಲಗಳ ಸ್ವರೂಪ, ಸುಭದ್ರ ಮತ್ತು ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯುಳ್ಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳು –ಇವೆಲ್ಲ ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತವೆ. (3) ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಹೊಸ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಅನೇಕ ಸಾಮಾನ್ಯ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿವೆ. ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. (4) ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಪರಮಾಣು

ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಒಂದು ಹೊಸ ಅಧ್ಯಾಯವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿದೆ. (5) ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯು ಎಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾಗಿದೆ ಯೆಂದು ಗೊತ್ತಾದ ನಂತರ ಅವುಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿ ಸಾಮಾನ್ಯ ಜನಜೀವನದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಉಪಯುಕ್ತ ರೀತಿಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಜನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಲು ಅವಕಾಶ ವಿರುತ್ತದೆ. (6) ವಸ್ತು ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟು ಹಲವಾರು ಹೊಸ ಹೊಸ ವಿಚಿತ್ರ ಮೂಲ ಕಣಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯೂ ವ್ಯಕ್ತವಾಗಿದೆ. (7) ಆದುದ ರಿಂದ, ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಉಪಯುಕ್ತತೆಯ ದೃಷ್ಟಿ ಯಿಂದಲೂ ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಬಹಳ ಪ್ರಮುಖ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿವೆ.

4.2 ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸ್ವರೂಪ

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿತವಾಗಿರುವ ಹಲವಾರು ಮುಖ್ಯ ಯಂತ್ರಗಳ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳಾಗಿ (projectiles) ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುವ ಕಣಗಳು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕು ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತವೆ. α–ಕಣಗಳು, ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಗಳು ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ (${}_2He^4$, ${}_1H^2$, ${}_1H^1$) ಗಳು ಇಂಥ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳಾಗಿ ವರ್ತಿಸು ತ್ತವೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳೂ (${}_0n^1$) ಬಹಳ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ x–ಕಿರಣಗಳೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಕೂಡ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶ ಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುವುದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್, ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಮತ್ತು ಟ್ರೈಟಾನ್ (${}_1H^1$, ${}_1H^2$, ${}_1H^3$) ಗಳೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, γ–ಕಿರಣಗಳೂ ಹೊರಬೀಳಬಹುದು. ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳೂ, ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ಬಗೆಯ ಕಣಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುವುದಾಗಿ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ.

ಈ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಹಂತ ಅಥವಾ ಸ್ತರಗಳು ಇರುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಮೊದಲನೆಯ ಘಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಲಕ್ಷ್ಯ ಬೀಜಾಂಶ (target nucleus) ವೂ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣವೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ ಒಂದು ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶ (compound nucleus)ವು ರಚನೆ ಹೊಂದಿರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ರಚಿಸ ಲಾಗುವ ಬೀಜಾಂಶವು ಅಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು ಸ್ಥಿರ ಸ್ಥಿತಿಗೆ ಬರಲು ಸ್ವಲ್ಪ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒಂದು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವರ್ತನೆಯ ಪರಿಣಾಮವೇ ಒಂದು ಹಗುರ ಕಣದ ಉತ್ಸರ್ಜನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. α–ಕಣಗಳನ್ನು

ಸಾರಜನಕ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸುವುದರ ಫಲವಾಗಿ ಇಂಥದೊಂದು ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದೆಂದು 1925 ರಲ್ಲಿ ಬಾಷ್ಪಸಮೂಹಾಲಯದ ಚಿತ್ರಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಈ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯು ಬಂದುದರ ಫಲವಾಗಿ 1936 ರಲ್ಲಿ ಭೋರ್ (Bohr) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು.

ಯಾವ ಕಣವೇ ಆಗಲಿ, ಲಕ್ಷ್ಯ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳ ಹೋಗಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ಬಾಹ್ಯ ವಲಯದಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರದಿಂದ ಕಲ್ಪಿತವಾಗಿರುವ ತಡೆಯನ್ನು ದಾಟುವಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಬೀಜಾಂಶವು ಭಾರವಾದಷ್ಟೂ ಅದರಲ್ಲಿರುವ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದರಿಂದ ಅವಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಪಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದುವುದರಿಂದ ತಡೆಯು ಮಟ್ಟವು ಏರುತ್ತದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ α–ಕಣಗಳಿಗೆ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಇದ್ದ ಹೊರತು ಒಳಗೆ ಹೋಗಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದರೆ ಅಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯಿರಬೇಕಾಗಿಲ್ಲ. ಹೀಗಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಫಲವಾಗುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು, ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳೂ α–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸಮರ್ಥವಾಗಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

1 ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ($_1H^2$) ಕಣವು ಬೀಜಾಂಶ ಕಣವನ್ನು ತಲಪಿ ಅದರೊಂದಿಗೆ ಸಂಘಟಿತವಾಗುವಾಗ ಅದರ ಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ನಿವ್ವಳ (net) ವಾಗಿ 14MeV ($1\text{MeV} = 1.6 \times 10^{-6}$ ಎರ್ಗ್) ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮಾತ್ರ ಸಂಘಟನೆಯಾಗುವಾಗ 8 MeV ಶಕ್ತಿಯೂ, α–ಕಿರಣದಿಂದ 4 MeV ಶಕ್ತಿಯೂ ಮಾತ್ರ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದೆಂದು ಲೆಕ್ಕಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವೇ ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳಿಗೆ ಹೊರಗಿನ ತಡೆಯು ಇಲ್ಲದೆ, ಅವುಗಳು ಸುಲಭವಾಗಿ ಅದನ್ನು ದಾಟಿ ಒಳಗಿರುವ ಬೀಜಾಂಶದೊಡನೆ ಸಂಘಟನೆ ಹೊಂದಿದರೆ, 8 MeV ಶಕ್ತಿಯು ಸೇರಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ, ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಡ್ಯೂಟರಾನ್‌ಗಳಿಂದಲೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಯೋಜನ ಪಡೆಯಬಹುದೆಂದು ಅರ್ಥಬರುತ್ತದೆ.

ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣವು ಲಕ್ಷ್ಯ ಬೀಜಾಂಶದೊಡನೆ ಸಂಘಟನೆಯಾಗಿ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶವು ತನಗೆ ದೊರೆತಿರುವ ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿ, ತನ್ನ ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಮತ್ತೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಅದರ ಉದ್ರಿಕ್ತ ಸ್ಥಿತಿ (excited) ಯ ಕಾಲಾವಧಿಯು $10^{-14} - 10^{-12}$ ಸೆಕಂಡಿನಷ್ಟಿದ್ದರೂ, ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣವು ತನ್ನ ವೇಗದಿಂದ

ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಸಂಘರ್ಷಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಕಾಲ (10^{-21} ಸೆಕಂಡು) ಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದು ಅದರಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಘರ್ಷಣೆಗಳು ಸಂಭವಿಸಿ ಶಕ್ತಿ ವಿನಿಮಯಕ್ಕೆ ಬೇಕಾಗುವ ಕಾಲಾವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಎರಡನೆಯ ಘಟ್ಟದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ α–ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಒಂದು ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುವುದರ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಬಹಳ ಕಡಮೆ. ಏಕೆಂದರೆ ಈ ಉತ್ಸರ್ಜನೆಗೆ ಬೇಕಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒದಗಿಸುವುದು ಸುಲಭವಲ್ಲ. ಹೀಗೆಯೇ ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಟ್ರೈಟಾನ್ ಮತ್ತು ಹೀಲಿಯಂ ಸಮಸ್ಥಾನಿ ($_1H^3$, $_2He^3$) ಗಳು ಹೊರಬೀಳಬಹುದು.

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬೀಜಕಣವು (nucleon) ಹೊರಬೀಳಬೇಕಾದರೆ ಒಂದು ನಿಗದಿಯಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಇರಬೇಕು. ಇದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಆ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ದೊರಕಿದರೆ, ಈ ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯು ಗ್ಯಾಮಾ ವಿಕಿರಣದ (gamma radiation) ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳಬಹುದು. ಇಂಥ ವಿಧಾನಗಳಿಗೆ ವಿಕಿರಣಾತ್ಮಕ ಗ್ರಹಣದ ಕ್ರಿಯೆ (radioactive capture reactions) ಗಳೆಂದು ಹೆಸರಿಡಬಹುದು. ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಈ ಸಂಭವವು ಉಂಟಾದರೆ ಅದನ್ನು (n, γ) ಎಂಬ ಸಂಕೇತದಿಂದ ತಿಳಿಸಬಹುದು.

ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಪರಿಣಾಮವೂ ಉಂಟಾಗಬಹುದು. ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶವು ಕೆಲವು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ (e^-, e^+) ಕಣವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಬಹುದು.

ಒಂದೇ ರಚನೆಯ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶವು ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ವಿಧವಾಗಿ ಉದ್ಭವಿಸಬಹುದು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ $_9F^{18}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ರಚಿಸಬಹುದು.

$$\left.\begin{array}{l} _7N^{14} + {}_2He^4 \\ _8O^{16} + {}_1H^2 \\ _8O^{17} + {}_1H^1 \end{array}\right\} \rightarrow \quad {}_9F^{18} \qquad (4.1)$$

ಇಲ್ಲಿ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳು α, ಡ್ಯೂಟರಾನ್, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಾಗಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳು

ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವ ಲಕ್ಷ್ಯ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಭಿನ್ನವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅಂತಿಮ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಹೀಗೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಒಂದೇ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶವು ರಚಿತವಾದರೂ, ಅದು ಮುಂದಕ್ಕೆ ಹೇಗೆ ವರ್ತಿಸು ವುದೆಂಬುದು ಆ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಬೇಕಾಗಿರುವ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸು ತ್ತದೆ. ಯಾವ ಕಿರಣಗಳು ಅಥವಾ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನು ಸಂಭವ ನೀಯತೆಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು.

ಈಗ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಿರುವ ನೂರಾರು ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಮಾದರಿ ಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದವುಗಳನ್ನು ಆರಿಸಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆ ಈ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ಮೂಲತತ್ತ್ವವು ಅಡಗಿರು ತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ಕಂಡುಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಒಂದು ಸಮೀಕರಣದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿ ಅದರ ಅರ್ಥವನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸುವ ಅಂಗಗಳು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಗೂ ಅವುಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವ ಕೆಲವು ಮೂಲಕಣಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುವುದರಿಂದ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ನವೀನ ರಸಾಯನಶಾಸ್ತ್ರಕ್ಕೆ (The New Chemistry) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ತಿಳಿಯ ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

4.3 ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಮೀಕರಣಗಳು

ಈ ಸಮೀಕರಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಎರಡು ಸಮಾನವಾದ ಪದವಿನ್ಯಾಸಗಳಿರು ತ್ತವೆ. ಒಂದರಲ್ಲಿ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಅವುಗಳು ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ – ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಘರ್ಷಣೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಉಳಿಯುವ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಎರಡು ಕಡೆಗಳನ್ನೂ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ನಾವು, ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವನ್ನು ಗಮನಿಸಲೇಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ವಸ್ತು – ಶಕ್ತಿಗಳ ಸಮಾ ನತ್ವದ ತತ್ತ್ವ (mass-energy equivalence principle) ಇದು ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ

$$E = Mc^2 \tag{4.2}$$

ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, M ಜಡಾಂಶವಿರುವ ಒಂದು ವಸ್ತುವನ್ನು, ಸಂಪೂರ್ಣ ವಾಗಿ ವಸ್ತುರೂಪವನ್ನು ಅಳಿಸಿಹೋಗುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಶಕ್ತಿರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಒದಗುವ ಶಕ್ತಿಯು E ಆಗಿರುತ್ತದೆಂದು ಅರ್ಥ. c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ.

ಇದನ್ನು ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಿದರೆ, 1 gm ತೂಕದ ವಸ್ತುವನ್ನು ನಿರ್ಮೂಲ ಮಾಡಿದರೆ ನಮಗೆ ದೊರಕುವ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯು

$$9\times10^{20}\ [(3\times10^{10})^2]$$ ಎರ್ಗ್‌ಗಳಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಈಗ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ತೂಕದ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವು ಶಕ್ತಿಯ ರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ನಾವು ಸಮೀಕರಣದ ಎರಡು ಕಡೆಗಳ ಸಮಾನತ್ವವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಮೇಲಿನ ನಿಯಮದಂತೆ ವಸ್ತುವು ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವಾಗ ಅದರ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಲೆಕ್ಕಕ್ಕೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬೇಕು.

ಈ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಸಮಾನತ್ವದ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಸುಲಭ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣ : ಸ್ಥಾಯೀಜಡಾಂಶ $m_0 = 9.028\times10^{-28}$ ಗ್ರಾಂ

ಇದಕ್ಕೆ ಸಮಾನಶಕ್ತಿ $= m_0c^2 = 9.025\times10^{-28}\times9\times10^{20}$ ಎರ್ಗ್‌ಗಳು

1 eV(ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್) $= 1.6\times10^{-12}$ ಎರ್ಗ್‌ಗಳು

1 MeV (ಮಿಲಿಯನ್ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್) $= 1.6\times10^{-6}$ ಎರ್ಗ್‌ಗಳು

$\therefore$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸ್ವಶಕ್ತಿ (self-energy of electron)

$$= \frac{9.028\times10^{-28}\times9\times10^{20}}{1.6\times10^{-12}\times10^{6}}\ \text{MeV} \qquad (4.3)$$

$$= 0.51\ \text{MeV}$$

ಪರಮಾಣು ತೂಕಮಾನ: 1 (a.m.u.) = (Atomic Mass unit)

$= 1.646\times10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ ಆದರೆ

ಇದರ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿ $= [1.646\times10^{-24}\times9\times10^{20}]$ ಎರ್ಗ್‌ಗಳು

$$= 931\ \text{MeV} \qquad (4.4)$$

ಈ ವಿವರಣೆಯೊಂದಿಗೆ ನಾವು ಕೆಳಗೆ ತಿಳಿಸುವ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಸಮನ್ವಯಗೊಳಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

$$M_0+(M_0+E_1) = (M_2+E_2) + (M_3+E_3) \qquad (4.5)$$

ಇಲ್ಲಿ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣದ ಜಡಾಂಶ M_1 ಮತ್ತು ಅದರ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿ E_1. ಇದು ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುವ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ$= M_0$ ಆಗಿರಲಿ. ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯಾದ ಮೇಲೆ ವಿಸರ್ಜನೆಯಾಗುವ

ಕಣದ ಜಡಾಂಶ $= M_3$; ಅದು ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಹೊಂದಿರುವ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿ E_3 – M_2 ಮತ್ತು E_2 ಗಳು ಉತ್ಪನ್ನ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ಅದರ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿ.

ಈಗ ಹೀಗೆ ನಡೆಯುವ ಎಲ್ಲ ಬೀಜಾಂಶ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಪ್ರತಿ ಒಂದು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ (reaction energy) ಯನ್ನೂ ಪರಿಗಣಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅವಗಾಹನೆ ಮಾಡಿದರೆ ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುವುದು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಒಟ್ಟು ವಿಧಾನ ದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗಿಯೂ ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಗ್ರಹಣವಾಗಿಯೂ ಇರಬಹುದು. ಹೀಗೆಯೇ ಕ್ರಿಯೆ ಗಳಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸುವ ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಇವು ಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಕೊರತೆ (mass defect) ಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸ ಬಹುದು. ವಸ್ತು–ಶಕ್ತಿಗಳ ಸಮಾನತ್ವದ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ನೋಡಿದರೆ, ಶಕ್ತಿಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಕ್ಕೂ ಜಡಾಂಶದ ಕೊರತೆಗೂ ಸಮತೆಯಿರುವುದು ಕಾಣುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ಸಮರ್ಥನೆ ಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದೆರಡು ಉದಾಹರಣೆಗಳಿಂದ ಈ ವಿಷಯವು ವಿಶದವಾಗುತ್ತದೆ.

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ

$(M_0+M_1) - (M_2+M_3) = E_2+E_3-E_1 = Q$ ಎಂದರೆ, (4.6)

$Q=$ ಪ್ರಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ (reaction energy) ಆಗುತ್ತದೆ.

$$\therefore\ (M_0+M_1) = (M_2+M_3)+Q = (M_2+M_3) + (\triangle m) \quad (4.7)$$

ಇಲ್ಲಿ Q ಧನವಾಗಿಯಾಗಲಿ, ಋಣವಾಗಿಯಾಗಲಿ ಇರಬಹುದು (positive or negative).

Q ಧನವಾದರೆ, ಅಂತಿಮ ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳ ಒಟ್ಟು ಜಡಾಂಶವು ಮೂಲವಸ್ತು ಮತ್ತು ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿರಬೇಕು.
ಅಂದರೆ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ Q ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರಬೀಳ ಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಶಾಖೋತ್ಸರ್ಜನ ಕ್ರಿಯೆ (exothermic) ಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

Q ಋಣವಾದರೆ, ಆ ಶಕ್ತಿಯು ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಗ್ರಹಣವಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ ಈ ಗ್ರಹಣವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಜಡಾಂಶ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆ

ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಶಾಖಗ್ರಾಹಕ ಕ್ರಿಯೆ (endothermic reaction) ಯೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

(a) α–ಕಣವು ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವುದರ ಪರಿಣಾಮ

ಈ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದನು. ಆ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾದ ವಿವಿಧ ಕಣಗಳ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆದುದರಿಂದ ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ 1.26 MeV ಶಕ್ತಿಯ ಕೊರತೆಯು ಕಂಡುಬಂದು ಅದು ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಗ್ರಹಣವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಯಿತು.

ಅಂದರೆ, $E_2+E_3-E_1=\ -1.26$ MeV ಆಯಿತು. (4.8)

ಈಗ ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾದರೆ, ನಾವು ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಅವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕು.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬರೆದರೆ

$$(\alpha,p)\ -\ {}_7N^{14} + {}_2He^4 \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1 + Q \qquad (4.9)$$

ಇಲ್ಲಿ $M_0={}_7N^{14}$ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ $=$ 14.00753 (a.m.u) – (ಪರಮಾಣು ಜಡಾಂಶಮಾನ)

$M_1={}_2He^4$ – (α–ಕಣದ ಜಡಾಂಶ) $=$ 4.00386 (a.m.u.)

M_0+M_1 $=$ 18.01139 ,,

ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತು ಮತ್ತು ಕಣಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ,

$M_2={}_8O^{17}$ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ $=$ 17.00450 ,,

$M_3={}_1H^1$ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ನ ಜಡಾಂಶ $=$ 1.00813 ,,

(M_2+M_3) $=$ 18.01263 ,,

$$\therefore Q = (M_0+M_1)-(M_2+M_3) = (18.01139-18.01263)$$
$$= -\ 0.00124 \text{ a.m.u. } (\triangle m) \qquad (4{\cdot}10)$$

ವಸ್ತು–ಶಕ್ತಿ ಸಮಾನತ್ವದ ಸೂತ್ರದಿಂದ

$$Q = (\triangle m).c^2 = -\ .00124 \times 9 \times 10^{20} \text{ ಎರ್ಗ್‌ಗಳು.}$$
$$= -1.16 \text{ MeV } [.00124 \times 931 \text{ MeV}] \qquad (4.11)$$

ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಈ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಉಪಲಬ್ಧವಾದ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಅಲ್ಪವಾಗಿಯೇ ಇದೆ. ಇದು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗಿಯೇ ಇರುವುದು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಮೂಲ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯಾದಂತೆಯೇ ತಿಳಿಯುಬಹುದು.

(b) ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ಲಿಥಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೂ ಘರ್ಷಣೆ

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿಶದವಾಗಿ ವಿವರಿಸಿರುವಂತೆ, ಕಾಕ್‌ರಾಫ್ಟ್ ಮತ್ತು ವಾಲ್ಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1932 ರಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಯಂತ್ರಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳಿಂದ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಲಿಥಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದರು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಸಿ ಹಲವು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಸುಮಾರು 8 MeV ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ 2 α–ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದು ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಇದನ್ನು ಸಮೀಕರಣದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿದರೆ,

$$(p,\alpha) \quad {}_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + Q \qquad (4.12)$$

ಎಡಗಡೆ ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ :

$$\begin{array}{rl|l} {}_3Li^7 = & 7.01816 & \\ {}_1H^1 = & 1.00813 & {}_2He^4 + {}_2He^4 = 8.00772 \\ \hline {}_3Li^7 + {}_1H^1 = & 8.02629 & \end{array}$$

ಪ್ರಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ $Q = 8.02629 - 8.00772$

$$= +\ 0.01857\ (\triangle m)\ (a.m.u.)$$

ಇದನ್ನು ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿದರೆ

$$Q = + \ .01857 \times 931 \text{ MeV}$$
$$= +\ 17.29 \text{ MeV} \qquad (4.13)$$

ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಶಕ್ತಿಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸ + 17.28 MeV.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಜಡಾಂಶ ಕೊರತೆಯಾಗಿ ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರಬೀಳುವ 2 α–ಕಣಗಳ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ.

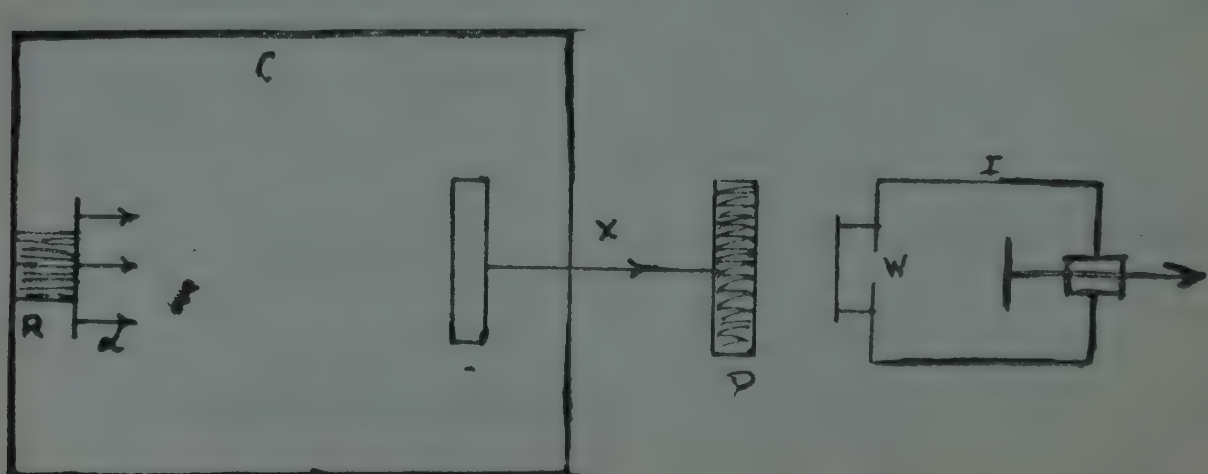
ಇದೇ ತತ್ತ್ವವೇ ಇದುವರೆಗೂ ನಡೆದಿರುವ ನೂರಾರು ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಸಮರ್ಥನೆ ಹೊಂದಿದೆ. ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿ

ಸೋಣ. ಇದಕ್ಕೆ ಮೊದಲು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಗೊತ್ತಾದ ವಿಧಾನವೇ ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

4.4 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣ ಮತ್ತು ಅದರ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮತ್ತ ಲಕ್ಷಣಗಳು

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾಗಿದ್ದು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚು ಜಡಾಂಶವುಳ್ಳ ಕಣ. ಇದರ ಮಹತ್ತ್ವವು ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. – ಮೊದಲನೆಯದು ಯಾವ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದರೂ, ಅದರ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಹೊಕ್ಕು ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ ಮಾಡುವುದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಅದರಲ್ಲಿ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ (artificial radioactivity) ಯನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವುದು ; ಮತ್ತೊಂದು–ಅಸ್ಥಿರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಗ್ರಹಣವಾಗಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮಾನ ತೂಕಗಳುಳ್ಳ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳನ್ನಾಗಿ ವಿದಲನ (fission) ಮಾಡಿ ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವುದು. ಈ ಎರಡು ಅಂಶಗಳು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗುವುದು.

ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯವೂ ಸ್ವಾರಸ್ಯವೂ ಆದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ :– ಈ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವು ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಅಡಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾದರೂ ಇದರ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟುದು 1932 ರಲ್ಲಿ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಎಂಬ ಬ್ರಿಟಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ. ಈ ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು. ಅವನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣದ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ. C ಎಂಬ ಒಂದು ನಿರನಿಲ ಆಲಯದಲ್ಲಿ α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ವಸ್ತು R ಇದೆ. ಇದರಿಂದ



ಚಿತ್ರ 4.1 ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಉಪಕರಣ

ಹೊರಬೀಳುವ α–ಕಿರಣಗಳು T ಎಂಬ ಬೆರಿಲಿಯಂ (Be) ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವ ವಿಕಿರಣ (radiation) ವು X ಆಗಿರಲಿ. ಇದರ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುವುದಕ್ಕಾಗಿ ಅದನ್ನು ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಕಿಟಕಿ W ಯ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಆಲಯ (I) [ionisation chamber] ಕ್ಕೆ ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿಸಿ ಅದರಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಒಂದು ಶಕ್ತಿವರ್ಧಕ–A ದ ಮೂಲಕ ವೃದ್ಧಿ ಗೊಳಿಸಿ ಆದರ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಅಳೆಯುವುದೇ ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗ.

ಹೀಗೆ ಮಾಡುವಾಗ ಮೊದಲು ಒಂದು ನಿಮಿಷಕ್ಕೆ ಕೆಲವೇ ಸ್ಫುರಣಗಳು (pulses) ಇರುವಂತೆ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ವಿಕಿರಣದ ಹಾದಿಯಲ್ಲಿ I ಆಲಯವನ್ನು ತಲಪುವುದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆ ಸುಮಾರು 2 ಸೆಂ.ಮೀ. ದಪ್ಪದ ಸೀಸದ ಫಲಕವನ್ನು ಇಟ್ಟಾಗ, ಸ್ಫುರಣಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಕಂಡುಬರಲಿಲ್ಲ. ಇದರಿಂದ ಆ ವಿಕಿರಣವು ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಅರ್ಥವಾಯಿತು.

ಆದರೆ, ಸೀಸಕ್ಕೆ ಬದಲು P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಪ್ಯಾರ ಫಿನ್ ಫಲಕವನ್ನು ಇಟ್ಟರೆ, ಸ್ಫುರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವಂತೆ ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಅಷ್ಟೇನೂ ಸುಲಭ ವಾಗಲಿಲ್ಲ.

ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು 1930 ರಲ್ಲಿ ಬೋಥೆ ಮತ್ತು ಬೆಕ್ಕರ್ ಎಂಬ ಜರ್ಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಾಡಿದ್ದರು. ಅವರ ಊಹೆಯ ಪ್ರಕಾರ, α–ಕಿರಣಗಳು ಬೆರಿಲಿಯಂ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದ್ದರ ಫಲವಾಗಿ ಹೊರ ಬೀಳುವ ವಿಕಿರಣವು ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ γ–ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಭಾವಿಸಿದ್ದರು. ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 7 MeV ಅಷ್ಟು ಇದ್ದಿತು. ಮತ್ತೆ 1932 ರಲ್ಲಿ ಪ್ಯಾರಿಸಿನಲ್ಲಿ ಜೋಲಿಯೋ ಮತ್ತು ಕ್ಯೂರಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿ, ಬೆರಿಲಿಯಂನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ತೀಕ್ಷ್ಣ ವಿಕಿರಣವು ಜಲಜನಕದೊಡನೆ ಕೂಡಿರುವ ಪ್ಯಾರ್‌ಫಿನ್, ನೀರು, ಸೆಲ್ಲೋಫೇನ್ ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದಾಗಿ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟರು.

ಈ ಎರಡು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಸಮಂಜಸವಾಗಿ ಬಗೆಹರಿಸಲು ವಿಕಿರಣವು γ–ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ ಸರಿಹೋಗಲಾರದೆಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಏಕೆಂದರೆ, ಆ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು

$$_4Be^9 + {_2He^4} \rightarrow {_6C^{13}} + h\nu \qquad (4.14)$$

ಎಂದು ಬರೆದರೆ, ಈ γ–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 15 MeV ಮಾತ್ರ ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಇದೇ ಕಿರಣಗಳು ಪ್ಯಾರಫಿನ್ ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದರೆ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 50 MeV ಇರಲು ಹೇಗೆ ಸಾಧ್ಯವೆಂಬುದು ಗೋಚರವಾಗುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ.

ಆ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಹೀಗೆ ಸಂದಿಗ್ಧವಾಗಿರುವಾಗ, ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಒಂದು ಹೊಸದಾದ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಧೈರ್ಯವಾಗಿ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಅವನ ಪ್ರಕಾರ, ಬೆರಿಲಿಯಂನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ತೀಕ್ಷ್ಣ ವಿಕಿರಣವು γ–ಕಿರಣಗಳಲ್ಲ. ಅವುಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಜಡಾಂಶಕ್ಕೆ ಸಮೀಪ ಜಡಾಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು. ಇವುಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂದು ಕರೆದು ಸಂಕೇತವು $_0n^1$ ಆದರೆ, ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸ್ವರೂಪವು ಹೀಗಿರಬೇಕು :

$$_4Be^9 + {_2He^4} \rightarrow {_6C^{12}} + {_0n^1} + Q. \qquad (4.15)$$

ಹೀಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಪ್ಯಾರಫಿನ್ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 5 MeV ಆಗಿದ್ದರೆ, ಮೂಲ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 55 MeV ಎಂದು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲಾಯಿತು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಕಣಗಳನ್ನು ಸಾರಜನಕದ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಘರ್ಷಣ ಮಾಡುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಈ ಸಾರಜನಕದ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯು 1.2 MeV ಆಗಿದ್ದು, ಅವುಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾದ ಮೂಲಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 90 MeV ಇರಬೇಕೆಂದೂ ಊಹಿಸಲಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಪ್ಯಾರಫಿನ್ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಾಣಲಾದ ಅಧಿಕ ಸ್ಫುರಣಗಳಿಗೆ ಕಾರಣಭೂತವಾಗಿರಬೇಕೆಂದೂ ಖಚಿತಪಡಿಸಲಾಯಿತು.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ನಿಶ್ಚಯ ಪಡಿಸಲು ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಮೂಲಕವೂ ಸಾರಜನಕದ ಮೂಲಕವೂ ಹಾಯುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಆ ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಜಲಜನಕ ಮತ್ತು ಸಾರಜನಕದ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ವೇಗದ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಿದನು. ನಂತರ ಈ ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಗೆ ಸಾಮಾನ್ಯ ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಆ ವೇಗಗಳ ನಿತ್ಯತ್ವದ ನಿಯಮಗಳನ್ನು (principles of conservation of momentum and energy) ಅನ್ವಯಿಸಿದನು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್

ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶವು m_n ಆಗಿಯೂ, ಮತ್ತು m_n ಮತ್ತು m_p ಗಳು ಸಾರಜನಕ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳೂ ಆಗಿ, ಅವುಗಳ ವೇಗಗಳು V_N ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ

$$\frac{V_H}{V_n} = \frac{m_n+m_n}{m_n+m_p} = \frac{m_n+14m_p}{m_n+m_p} \quad (m_n=14\ m_p) \qquad (4.16)$$

ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ $\frac{V_h}{V_n}=7.5$ ಆಗಿದ್ದಿತು.

ಇದನ್ನು ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದರೆ

$$\frac{m_n+14m_p}{m_n+m_p} = 7.5$$

$$m_n \approx m_p \text{ ಆಗಿ} \qquad (4.17)$$

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ತೂಕವೂ ಪ್ರೋಟಾನ್ ತೂಕವೂ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ಮಾಡಿದುದರ ಫಲವಾಗಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಜಡಾಂಶವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಜಡಾಂಶಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ನಿರ್ಧಾರವಾಯಿತು. ಅಂದರೆ, ಅದರ ಜಡಾಂಶವು 1.00893 a.m.u. ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಜಡಾಂಶವು ಗೊತ್ತಾಗಿ ಅದು ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವೆಂದೂ ಖಚಿತವಾಯಿತು. ಇದಾದ ಮೇಲೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಲು ಹಲವಾರು ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದವು :

(1) ಪೊಲೋನಿಯಂನಿಂದ ಬರುವ α-ಕಣಗಳನ್ನು ಬೆರಿಲಿಯಂ, ಬೋರಾನ್ ಮತ್ತು ಲಿಥಿಯಂಗಳ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸುವುದು. ಇದರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದು ಕಡಮೆ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ.

(2) Ra ಅಥವಾ Rn ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α-ಕಿರಣಗಳಿಗೂ Be ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಗೂ ಘರ್ಷಣೆ. ಇದರಿಂದ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಬಂದರೂ, ಜೊತೆಯಲ್ಲಿಯೇ γ-ಕಿರಣಗಳೂ ಇರುವುದು ಒಂದು ಅನಾನುಕೂಲ.

(3) ಲಾರೆನ್ಸ್ ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್‌ನಿಂದ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯ ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ($_1H^2$) ಗಳನ್ನು ಬೆರಿಲಿಯಂನಂಥ ಹಗುರ ವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸುವುದು. 4–25 MeV ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತವೆ.

$$_3Li^7 + {}_1D^2 \rightarrow 2\ {}_2He^4 + {}_0n^1 + Q. \qquad (4.18)$$

[ಲಿಥಿಯಂ + ಡ್ಯೂಟರಾನ್ → 2 α ಕಣಗಳು + ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ + ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ]

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಅಣುಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿ ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಬೇಕಾದರೆ, ಪರೋಕ್ಷ (indirect) ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.

(1) ಸ್ಥಿತಿಸ್ಥಾಪಕ ಘರ್ಷಣವಿಧಾನ (elastic collision method)

ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳೊಂದಿಗೆ (ಹಗುರ ವಸ್ತುಗಳು) ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಅವುಗಳು ಹಿಂದಕ್ಕೆ ಸರಿಯುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುವುದರಿಂದ ಬಾಷ್ಪಸಮೂಹಾಲಯ ಮುಂತಾದ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚುವುದರ ಮೂಲಕ, ವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಅಳೆಯಬಹುದು.

(2) ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ವಿಧಾನ

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ವಸ್ತುಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳ ಪಥಗಳ ವೀಕ್ಷಣಗಳಿಂದ ಎಲ್ಲ ಉಪಯುಕ್ತ ವಿಷಯಗಳನ್ನೂ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಭಿನ್ನವಾದ ವೇಗಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಕೆಲವು ಬಹಳ ವೇಗದಿಂದಲೂ ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಕಡಮೆ ವೇಗದಿಂದಲೂ ಇರುತ್ತವೆ. ವೇಗವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ನೀರು ಮತ್ತು ಪ್ಯಾರ್‌ಫಿನ್ ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ವೇಗಗಳು ಜಲಜನಕದ ಬೀಜಾಂಶಗಳೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಬಹಳ ಕುಂದಿಹೋಗುತ್ತವೆ. 'C' ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ತಾಪಾತ್ಮಕ (thermal) ಕಣಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳು ಸುಮಾರು 0.4 eV ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

ಜೈವಿಕ ಮತ್ತು ವೈದ್ಯ ಶಾಸ್ತ್ರ(biological and medical science) ಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ.

ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಅವುಗಳು X– ಮತ್ತು γ–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪರಿಣಾಮ ಕಾರಿಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ವ್ರಣ ಚಿಕಿತ್ಸೆ (cancer therapy) ಯಲ್ಲಿಯೂ ಅದು ಬಹಳ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇತರ ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗಗಳು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯ ಗಳಲ್ಲಿ ವೇದ್ಯವಾಗುತ್ತವೆ.

4.5 ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಮಾದರಿಗಳು

ಪ್ರಬಲ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಸಾಧನಗಳೂ, α–ಕಣಗಳು, ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್–ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಮುಂತಾದ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳೂ, ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಈಗ ಸರ್ವೇ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಮೂಲ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಹೇಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಉಪಕರಣ ಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ ಎಂಬ ವಿಷಯವನ್ನು ಈಗಾಗಲೆ ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಪ್ರಮುಖವಾದವನ್ನು ಸೂಚಿಸುವುದು ಸೂಕ್ತವಾಗಿದೆ.

(a) ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆ (p,r); (p,n); (p,α); (p,p) :

ಕೆಲವು ಹಗುರವಾದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳೊಡನೆ ಪ್ರೋಟಾನ್ ($_1H^1$) ಕಣಗಳು ಘರ್ಷಣೆಯಾದರೆ, γ–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಅಲ್ಯೂ ಮಿನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವು ಈ ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಸಿಲಿಕಾನ್ ಬೀಜಾಂಶವಾಗಿ ಪರಿ ವರ್ತಿತವಾಗುತ್ತದೆ.

$$_{13}Al^{27} + {_1H^1} \rightarrow {_{14}Si^{28}} + \gamma \qquad (4.19)$$

ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ + ಪ್ರೋಟಾನ್ → ಸಿಲಿಕಾನ್ + γ (ಕಿರಣಗಳು)

$$_3Li^7 + {_1H^1} \rightarrow {_4Be^8} + \gamma \qquad (4.20)$$

ಇಲ್ಲಿ γ–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 17 MeV ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಬೇರೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.

ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯಿದ್ದು, ಹೊರಗಡೆಯ ತಡೆಯನ್ನು ದಾಟುವಷ್ಟು ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿದ್ದರೆ, ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ.

$$_{11}Na^{23} + {_1H^1} \rightarrow {_{12}Mg^{23}} + {_0n^1} \qquad (4.21)$$

ಸೋಡಿಯಂ + ಪ್ರೋಟಾನ್ → ಮ್ಯಾಗ್ನೀಸಿಯಂ + ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್

ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ α–ಕಣಗಳೂ, ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುವುದು ಬಹಳ ಅಪರೂಪ.

$$_{7}N^{14} + _{1}H^{1} \rightarrow _{6}C^{11} + _{2}He^{4} \quad (4.22)$$

ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವೇ ಹೊರಬೀಳುವುದುಂಟು.

$$In^{115} + _{1}H^{1} \rightarrow In^{115+} + _{1}H^{1} \quad (4.23)$$

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಇಂಡಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವು ಉದ್ರಿಕ್ತ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು (+) ಹೊಂದಿ ಅದರ ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯು γ–ವಿಕಿರಣವಾಗುತ್ತದೆ.

$$In^{115+} \rightarrow In^{115} + \gamma \quad (4.24)$$

(b) ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ (d,p); (d,n)

ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣವು ಬಹಳ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳಿಗೆ ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿದರೆ, ಆ ಕಣಗಳಿಂದ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯು ಬಹಳ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವನ್ನು ಆಪೆನ್‌ಹೈಮರ್ (Oppenheimer) ಮತ್ತು ಫಿಲಿಪ್ಸ್ (Phillips) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕೊಟ್ಟರು. ಅದರ ಪ್ರಕಾರ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವಣ ಬಂಧನವು ಅಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ (ಸುಮಾರು 2 MeV ಮಾತ್ರ) ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣವು ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕಾಗ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಭಾಗವು ಸಡಿಲವಾಗಿ, ಮಿಕ್ಕ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಂದ ಅಪಕರ್ಷಣ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಮಾತ್ರ ಗ್ರಹಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶವು γ–ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಇದು ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಡ್ಯೂಟರಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಅತ್ಯಧಿಕವಾಗಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳೇ ಗ್ರಹಣವಾಗಿ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಹೊರಡಿಸುತ್ತದೆ.

$$_{3}Li^{7} + _{1}H^{2} \rightarrow _{3}Li^{8} + _{1}H^{1} \quad (4.25)$$

ಲಿಥಿಯಂ + ಡ್ಯೂಟರಾನ್ → ಲಿಥಿಯಂ + ಪ್ರೋಟಾನ್

$$_{83}Bi^{209} + _{1}H^{2} \rightarrow _{83}Bi^{210} + _{1}H^{1} \quad (4.26)$$

ಈ ಎರಡನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ $_{83}Bi^{210}$ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು RaE ವಸ್ತುವಿನಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, β–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ವಿಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ.

ಆಲಿಫಾಂಟ್ (Oliphant) ಮತ್ತು ಹಾರ್‌ಟೇಕ್ (Harteck) ವಿಜ್ಞಾನಿ

ಗಳು 1934 ರಲ್ಲಿ ಡ್ಯೂಟೀರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಡ್ಯೂಟೀರಿಯಂ ($_1H^2$) ಮೇಲೆಯೇ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ, ಜಲಜನಕದ ಮತ್ತೊಂದು ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಾದ ಟ್ರೈಟಿಯಂ ($_1H^3$) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದನ್ನು ನಿದರ್ಶನ ಮಾಡಿದರು.

$$_1H^2 + {_1H^2} \rightarrow {_1H^3} + {_1H^1} \quad (4.27)$$

ಡ್ಯೂಟೀರಿಯಂ + ಡ್ಯೂಟರಾನ್ → ಟ್ರೈಟಿಯಂ + ಪ್ರೋಟಾನ್

ಸಾಮಾನ್ಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳು ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಹೊರಬೀಳುವಂತೆ ಮಾಡಲು ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ.

$$_3Li^6 + {_1H^2} \rightarrow {_4Be^7} + {_0n^1} \quad (4.28)$$

ಲಿಥಿಯಂ + ಡ್ಯೂಟರಾನ್ → ಬೆರಿಲಿಯಂ + ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್

(c) α–ಕಣಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ

α–ಕಣಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು (α,p) ಮತ್ತು (α,n) ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುವುದನ್ನು ಗುರುತಿಸಲಾಗಿದೆ. ಬಹಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ α–ಕಣಗಳು 2 ಅಥವಾ 3 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರಡಿಸುವ ಸಂಭವಗಳೂ (α,2n) (α,3n) ಕಂಡುಬಂದಿವೆ.

(d) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ (nγ,); (n,p); (n,d)

ಸಾಧಾರಣ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ನೇರವಾಗಿ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಘರ್ಷಿಸಲು ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರುವುದರಿಂದ, ಮೊದಲು ಅವುಗಳು ಗ್ರಹಣವಾಗಿ ನಂತರ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ γ–ಕಿರಣಗಳು ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತವೆ.

$$_{29}Cu^{63} + {_0n^1} \rightarrow {_{29}Cu^{64}} + \gamma \quad (4.29)$$

ತಾಮ್ರ + ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ → ತಾಮ್ರ (ಸಮಸ್ಥಾನಿ) + γ ಕಿರಣಗಳು

ಅತಿ ಹಗುರವಾದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಎಲ್ಲ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿಯೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಗ್ರಹಣ ಹೊಂದಿ, γ–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವವಿದೆ.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದರೆ (fast neutrons), ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವವಿದೆ.

$$ {}_{7}N^{14} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{6}C^{14} + {}_{1}H^{1} \qquad (4.30) $$

ಸಾರಜನಕ + ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (ವೇಗ) → ಇಂಗಾಲ + ಪ್ರೋಟಾನ್

ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಗಳು 40 ಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಿದ್ದರೆ, (n,α) α–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವವುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. 14 MeV ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಡ್ಯೂಟರಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ ಹೊರಡಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ (n,d).

(e) ವಿಕಿರಣ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ

(γ,n); (γ,p); $({}_{-1}e^{0}, n)$

1934 ರಲ್ಲಿ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಮತ್ತು ಗೋಲ್ಡ್‌ಹಾಬರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ThC ನಿಂದ γ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು (2.62 MeV ಶಕ್ತಿ) ಡ್ಯೂಟೀರಿಯಂ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ, ಅದನ್ನು ಭೇದಿಸಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವಂತೆ ಮಾಡಿದರು.

$$ {}_{1}H^{2} + \gamma \rightarrow {}_{1}H^{1} + {}_{0}n^{1} \qquad (4.31) $$

ಡ್ಯೂಟೀರಿಯಂ + γ–ಕಿರಣ→ ಪ್ರೋಟಾನ್ + ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್

ಇದನ್ನು ದ್ಯುತಿ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ (photo-disintegration) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್‌ನಿಂದ ಉತ್ಪಾದಿಸಿದ ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಟಂಗ್‌ಸ್ಟನ್ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದುದರ ಫಲವಾಗಿ 20 ರಿಂದ 330 MeV ವರೆಗೆ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ X–ಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾದುವು.

ಬೆರಿಲಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶದ ಮೇಲೆ ಸುಮಾರು 2 MeV ಶಕ್ತಿಯ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ, ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು.

$$ {}_{4}Be^{9} + {}_{-1}e^{0} \rightarrow {}_{4}Be^{8} + {}_{0}n^{1} + {}_{-1}e^{0} \qquad (4.32) $$

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಸ್ವಲ್ಪ ಶಕ್ತಿಯು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಹೊರಡಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಪಡೆದಿದೆ.

ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ ನೂರಾರು ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಫಲಗೊಂಡಿವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಇದೊಂದು ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಯ ಹೊಸ ಸಾಧನೆಯೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳು ಕೃತಕವಾಗಿ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಪ್ರೇರೇಪಿತವಾಗಿ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ರೂಪದಂತೆಯೇ ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ. ಇದೊಂದು ಮಹತ್ತ್ವವಾದ ವಿಷಯವಾದುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಲಾಗುವುದು.

ಅಧ್ಯಾಯ - 5

ಪ್ರಚೋದಿತ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

5.1 ಪ್ರೇರೇಪಿತ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

ವಸ್ತುಗಳ ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುವಿನ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಅಸ್ಥಿರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನಾಗಲಿ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನಾಗಲಿ ಹೊರಗೆಡಹುವ ಸಂಭವವು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಹೀಗೆ ಹೊರಬಿದ್ದ ಕಣಗಳ ವರ್ತನೆಯು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಕೃತಕ ಅಥವಾ ಪ್ರೇರೇಪಿತ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯೆಂದು ಹೆಸರಾಯಿತು. ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇದೊಂದು ಮಹತ್ತರವಾದ ಘಟನೆಯಾದ್ದರಿಂದ ಇದರ ವಿಷಯವಾದ ವಿವರಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಆವಶ್ಯವಾಗಿದೆ.

1934 ರಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾ. ಐರೀನ್ ಕ್ಯೂರಿ ಜೋಲಿಯೋ (ಮ್ಯಾ. ಕ್ಯೂರಿಯ ಪುತ್ರಿ) (Mme. Irene Curie) ಮತ್ತು ಆಕೆಯ ಪತಿ ಫ್ರೆಡೆರಿಕ್ ಜೋಲಿಯೋ Frederick Joliot) ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ α–ಕಣಗಳನ್ನು ಹಗುರ ಧಾತುಗಳಾದ ಬೋರಾನ್, ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ, ಮಾಗ್ನೀಸಿಯಂಗಳ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿದ್ದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಈ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುಗಳೇ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವುದು ಮತ್ತು ಮೂಲ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳಾದ α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ತೆಗೆದ ಮೇಲೆಯೂ ಕೂಡ ಆ ವಿಕಿರಣವು ಮುಂದುವರಿಯುತ್ತಿರುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೂ ಮೂಲ ಘರ್ಷಣೆಗೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವೂ ಇಲ್ಲವೆಂದೂ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಹೊರಬಿದ್ದ ಕಣಗಳು ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳೆಂದೂ $({}_{+1}e^0)$ ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಈ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ವರ್ತನೆಯು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ β–ಕಣಗಳ ವರ್ತನೆಯಂತೆಯೇ ಇದ್ದಿತು. α–ಕಣಗಳ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ದೂರಮಾಡಿ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಗೈಗರ್–ಮುಲ್ಲರ್ ಗಣಕದ ಹತ್ತಿರ ಇಟ್ಟಾಗ, ನೂರಾರು ಸ್ಫುರಣಗಳು ಕಂಡುಬಂದುವು. ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯು ಕ್ಷಯಿಸು

ವುದರಲ್ಲಿಯೂ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೇ ಹೋಲುವಂತೆ ತೋರಿಬಂದಿತು. ಇವುಗಳಂತೆಯೇ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು ಅವುಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳು, ಬೋರಾನ್‌ಗೆ 10 ನಿಮಿಷಗಳು, ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂಗೆ 3.25 ನಿಮಿಷಗಳು ಆಗಿದ್ದುವು.

ಇವೆಲ್ಲ ಕಾರಣಗಳಿಂದ ಕ್ಯೂರಿ ಜೋಲಿಯೋ ದಂಪತಿಗಳು ಇದೊಂದು ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯೆಂದು ನಿಸ್ಸಂದೇಹವಾಗಿ ಘೋಷಿಸಿದರು. α–ಕಿರಣಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದಿದ ಹಗುರ ಧಾತುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುವುದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಉಳಿಯುವ ಬೀಜಾಂಶವು ಅಸ್ಥಿರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ವಿಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆಂಬ ವಿಷಯವು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಂತಾಯಿತು. ಇವುಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಮೀಕರಣಗಳಿಂದ ತೋರಿಸಬಹುದು.

$$_5B^{10} + {_2He^4} \rightarrow {_7{}^*N^{13}} + {_0n^1} + Q. \qquad (5.1)$$

$$_7{}^*N^{13} \rightarrow {_6C^{13}} + {_{+1}e^0} \text{ (T = 10ನಿಮಿಷಗಳು).} \qquad (5.2)$$

ಮೊದಲ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, α–ಕಣಗಳು ಬೋರಾನ್ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬಿದ್ದುದರ ಫಲವಾಗಿ ಉಳಿಯುವ ಸಾರಜನಕದ ಬೀಜಾಂಶವು ($_7N^{*13}$) ಸಾರಜನಕ ($_7N^{14}$)ದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಾಗಿದ್ದು, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಕಿರಣದ ಕ್ರಿಯೆಯು ಎರಡನೆಯ ಸಮೀಕರಣ (5.2) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದಂತೆ, ಇಂಗಾಲದ ಬೀಜಾಂಶವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ, ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ($_{+1}e^0$) ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದರ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲವು 10 ನಿಮಿಷಗಳು. ಹೀಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಸಾರಜನಕವು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದಲೂ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಅದು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಸಾರಜನಕದಂತೆಯೇ ವರ್ತಿಸುವುದರಿಂದಲೂ ಅದನ್ನು ರೇಡಿಯೋ ಸಾರಜನಕ (Radio–Nitrogen) ವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಈ ಕೃತಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಿದಾಗ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳ ಧಾತುಗಳ ಸಂಕೇತದ ಹಿಂದೆ 'ರೇಡಿಯೋ–' ಎಂಬ ಪದವನ್ನು ಸೇರಿಸುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ. ರೇಡಿಯೋ–ರಂಜಕ, ರೇಡಿಯೋ–ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ, ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳೆಲ್ಲವೂ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಆಯಾ ಧಾತುಗಳ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದೇ ವಿಧಾನದಿಂದ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶದ ಮೇಲೆ α-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ರೇಡಿಯೋ-ರಂಜಕ (radio-phosphorus)ವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಅದರಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು ಉಳಿಯುವ ವಸ್ತುವು ಸಿಲಿಕಾನ್ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸಮೀಕರಣ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.

$${}_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{15}{}^{*}P^{30} + {}_{0}n^{1} + Q \qquad (5.3)$$

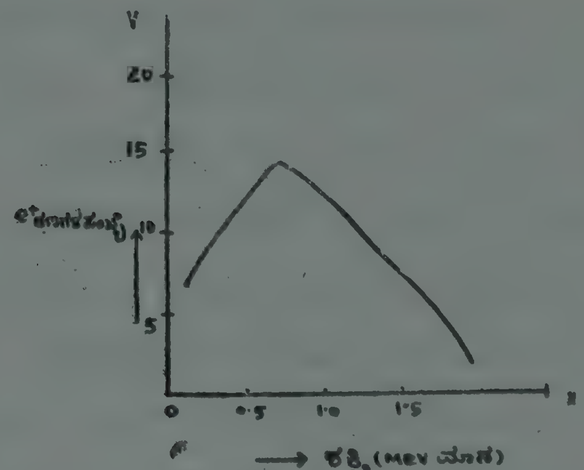
ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ + α–ಕಣಗಳು → ರೇಡಿಯೋ-ರಂಜಕ + ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ + ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ.

$${}_{15}{}^{*}P^{30} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_{+1}e^{0} \ (T = 3.25 \text{ ನಿಮಿಷಗಳು}) \qquad (5.4)$$

ರೇಡಿಯೋ–ರಂಜಕ → ಸಿಲಿಕಾನ್ + ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್.

${}_{6}C^{13}$ ಮತ್ತು ${}_{14}Si^{30}$ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳಿಂದ ಯಾವ ಕಿರಣಗಳ ವಿಸರ್ಜನೆಯೂ ಇರುವುದಿಲ್ಲ.

ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯ ಹಂಚಿಕೆಯ ವಿಷಯವಾಗಿ ಮಾಡಲಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ β–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವರ್ಣಪಟಲ (β–rays spectra) ದ ವರ್ತನೆಯೂ ಕಂಡುಬಂದಿತು.



ಚಿತ್ರ 5.1 ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿ ಹಂಚಿಕೆ

β–ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ರೇಖೆಯಂತೆಯೇ, ಕೃತಕ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ (${}_{+}e^{0}$) ಕಣಗಳೂ ಕೂಡ ಒಂದು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ರೀತಿಯ ನಿಯಮದಂತೆ ಒಂದು ಶಕ್ತಿಯ ಉಚ್ಚ ಮಿತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ಮೇಲಿನ ಚಿತ್ರ (5.1) ದಿಂದ ವ್ಯಕ್ತಪಡುತ್ತದೆ.

ಈ ಎಲ್ಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೂ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೂ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಾಮ್ಯವು ದೊರೆತಂತಾಯಿತು. ಒಂದು ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಸ್ವಲ್ಪ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳು ಒಂದು ಸರಪಳಿಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒಂದು ಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಅನುಸರಿಸಿ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಸೀಸಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಸ್ಥಿರವಸ್ತುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ನಿಲ್ಲುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದ ಮೇಲೆ, ಅದು ಅಲ್ಲಿಯೇ ನಿಂತು ಪರಂಪರೆಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಪಿಸುವುದಿಲ್ಲ.

5.2 ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೃತಕವಾಗಿ ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವ ಹಲವು ವಿಧಾನಗಳು

ಕ್ಯೂರಿ–ಜೋಲಿಯೋ ದಂಪತಿಗಳು ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಗಳನ್ನು ಪ್ರಸಾರ ಮಾಡಿದ ತರುಣದಲ್ಲಿಯೇ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧಕರು ಇದೇ ರೀತಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ಹೊಸ ಹೊಸ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶನ ಮಾಡಿದುದರಿಂದ ಮೂಲ ಸಂಶೋಧನೆಗೆ ಅತಿ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರಬಲವಾದ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರೆತಂತಾಯಿತು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ತಿಳಿಯುತ್ತವೆ.

(1) ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ α–ಕಣಗಳನ್ನೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಮಿಕ್ಕ ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳಾದ ಪ್ರೋಟಾನ್, ಡ್ಯೂಟರಾನ್, ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೂ ಕೂಡ, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸಬಹುದು.

(2) ಹೀಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ರೇಡಿಯೋ ಧಾತುಗಳಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳೇ ಅಲ್ಲದೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಕೂಡ ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವವಿದೆ.

ಈ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

ಪ್ರೋಟಾನ್ (p, n–ಕ್ರಿಯೆ) :

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow {}_4{}^*Be^7 + {}_0n^1 + Q. \qquad (5.5)$$

$$_4{}^*Be^7 \rightarrow {}_3Li^7 + e^+ \text{ (T} = 43 \text{ ದಿವಸಗಳು).} \qquad (5.6)$$

ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದಿದ ಲಿಥಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ

ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬಿದ್ದು, ರೇಡಿಯೋ–ಬೆರಿಲಿಯಂ ($_{4}{}^{*}Be^{7}$) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಇದರಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ.

(p, γ–ಕ್ರಿಯೆ) :

$$_{6}C^{12} + {}_{1}H^{1} \rightarrow {}_{7}{}^{*}N^{13} + h\nu \quad (5.7)$$

$$_{7}{}^{*}N^{13} \rightarrow {}_{6}C^{13} + e^{+} \text{ (T = 10 ನಿಮಿಷಗಳು)} \quad (5.8)$$

ಮೊದಲ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ γ–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ರೇಡಿಯೋ ಸಾರಜನಕ ($_{7}{}^{*}N^{13}$) ವು ವಿಕಿರಣದಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿ ಇಂಗಾಲದ ಸ್ಥಿರ ಬೀಜಾಂಶವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ.

ಡ್ಯೂಟರಾನ್ (d, p–ಕ್ರಿಯೆಗಳು) :

ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಉತ್ಪಾದಿಸಬಹುದಾದ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ($_{1}H^{2}$) ಕಣಗಳನ್ನು ಕೆಲವು ಧಾತುಗಳ ಮೇಲೆ (ಬಿಸ್ಮತ್ ಮತ್ತು ಪ್ಲಾಟಿನಂನಂಥ ಭಾರ ವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆಯೂ ಕೂಡ) ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು ಉಳಿಯುವ ವಸ್ತುವು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹ ಬಹುದು.

$$_{13}Al^{27} + {}_{1}D^{2} \rightarrow {}_{13}{}^{*}Al^{28} + {}_{1}H^{1} + Q. \quad (5.9)$$

ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ + ಡ್ಯೂಟರಾನ್ → ರೇಡಿಯೋ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ + ಪ್ರೋಟಾನ್ + (ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ).

$$_{13}{}^{*}Al^{28} \rightarrow {}_{14}Si^{28} + e^{-} \text{ (T = 2.4 ನಿಮಿಷಗಳು)}$$

ರೇಡಿಯೋ–ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ → ಸಿಲಿಕಾನ್ + ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್. (5.10)

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (n, p), (n, α), (n, γ) ಕ್ರಿಯೆಗಳು :

ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ವಿಧಾನಗಳಿಗಿಂತಲೂ ಯಶಸ್ವಿಯಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳೆಂದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಪಾತ್ರವಹಿಸುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳು. ಮಂದಗಾಮಿಯಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು (ಶಾಖ ಶಕ್ತಿಯ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ) ಹಲವಾರು

ಧಾತುಗಳಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಪ್ರೇರೇಪಿತವಾದ ಅನೇಕ ರೇಡಿಯೋ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಬಹುದಾಗಿದೆ.

$$_{35}Br^{79} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{35}{}^*Br^{80} + \gamma \quad (5.11)$$

$$_{35}Br^{81} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{35}{}^*Br^{82} + \gamma \quad (5.12)$$

ಇದರಲ್ಲಿ ತೋರಿಬರುವ ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಬ್ರೋಮೀನ್ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಮೇಲೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಪ್ರಯೋಗವಾದಾಗ, ಮತ್ತೆರಡು ಬ್ರೋಮೀನ್ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ($_{35}Br^{80}$ ಮತ್ತು $_{35}Br^{82}$) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ, ಇವುಗಳು ವಿವಿಧ ದರಗಳ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಕ್ಷಯ ಕಾಲಗಳನ್ನು (rates of decay) ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ತತ್ತ್ವಗಳು ಆಯಾ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಭಿನ್ನ ಭಿನ್ನ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತವೆ.

ಮಂದಗಾಮಿಯಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದಿಂದ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ಫರ್ಮಿ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ (Fermi effect) ಯೆಂದು ಕರೆಯುವುದು ಉಂಟು.

γ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರ ಬೀಳುವಾಗ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ.

$$_{35}Br^{81} + \gamma \rightarrow {}_{35}Br^{80} + {}_0n^1. \quad (5.13)$$

$_{35}Br^{80}$ ವಸ್ತುವಿನ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಕ್ಷಯದ ದರಗಳು 6 ನಿಮಿಷಗಳಿಂದ, 4 ಘಂಟೆಗಳ ವರೆಗೂ ಇರಬಹುದು.

1934 ರಿಂದ ಈಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಕೃತಕವಾಗಿ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಪ್ರೇರೇಪಿತವಾದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 500ಕ್ಕೂ ಮೀರಿದೆ. ಅಂದರೆ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಪುನರಾವರ್ತನೆಯ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿತ ವಾಗಿರುವ ಎಲ್ಲ ಧಾತುಗಳಿಗೂ ಒಂದು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರೇರೇಪಿತ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಒಂದೇ ಧಾತುವಿಗೆ ಇರಬಹುದಾದ ಹಲವು ಸ್ಥಿರ (stable) ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಸಮೀಪವರ್ತಿ ಯಾಗಿಯೇ ಈ ಕೃತಕ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಒಂದೇ ರೇಡಿಯೋ

ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ಹಲವು ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ನಿರ್ಮಿತವಾಗಬಲ್ಲುದು. ಆಯಾ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೂ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳನ್ನೂ ಅದು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಕೆಲವು ಹೊಸ ಧಾತುಗಳೂ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ. ಉದಾಹರಣೆಗಾಗಿ, ಟೆಕ್‌ನಿಷಿಯಂ (Z=43), ಆಸ್ಟಾಟೆನ್ (Z=85) ಮತ್ತು ಫ್ರಾಂಸಿಯಂ (Z=87) ಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಬಹುದು. ಯುರೇನಿಯಂ ಆಚೆ, ಹಲವಾರು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು (trans-uranium elements) ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಕಂಡು ಬಂದಿವೆ. ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ, ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಮೊದಲಾದುವು ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಸೇರಿವೆ.

ಈ ರೇಡಿಯೋ ಧಾತುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳಲ್ಲಿ (half-life periods) ಅಪಾರವಾದ ವೈವಿಧ್ಯವಿದೆ. ಇವುಗಳು 0.02 ಸೆಕಂಡಿನಿಂದ ಹಿಡಿದು 10 ವರ್ಷಗಳ ವರೆಗೂ ಇರಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯೂ ಕೂಡ 0.3 MeV ಯಿಂದ ಸುಮಾರು 13 MeV ವರೆಗೂ ಇರುತ್ತದೆಂದು ಕಂಡುಬಂದಿದೆ.

ಈ ರೇಡಿಯೋ ಧಾತುಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವು ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ನಿತ್ಯ ಜೀವನದ ಔಪಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಿದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಇನ್ನೂ ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ನಿರೂಪಿಸಲಾಗುವುದು.

5.3 ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಕ್ಷಯದ ತತ್ತ್ವ

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಮಾತ್ರ ಹೊರಬೀಳುವುವೆಂದು ತಿಳಿದು ಬಂದಿತು. ಇತ್ತೀಚಿನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಹಲವಾರು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ (β-) ಕಣಗಳೂ, 82ಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಿರುವ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಕೆಲವು ಧಾತುಗಳಿಂದ α-ಕಣಗಳೂ ಕೂಡ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಹಗುರವಾದ ಮತ್ತು ಕಡಮೆ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಧಾತುಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಮಾತ್ರ ಹೊರಬೀಳುವುದು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿದ್ದಿತು.

ಈ ಕಣಗಳ ವಿಸರ್ಜನೆಯ ವಿಧಾನವು ಧಾತುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರಬೇಕೆಂದು ನಿರ್ಧಾರ ಮಾಡಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಗೂ ಬೀಜಾಂಶದ ಸ್ಥಿರತ್ವ ಅಥವಾ ಅಭದ್ರತೆಗೂ ಸಂಬಂಧ

ವಿರುವಂತೆ ತಿಳಿದುಬರುತ್ತದೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ (A-Z) ಆಗಿಯೂ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ (Z) ಆಗಿಯೂ (A = ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ—Mass number) ಇದ್ದರೆ,

$$\frac{(A-Z)}{Z} = \frac{\text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆ}}{\text{ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆ}} = K$$ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

ಈ 'K' ಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಒಂದು ಮಿತಿಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಿದ್ದರೆ ಸುಭದ್ರತೆಯೂ, ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಮಿತಿ ಮೀರಿದಲ್ಲಿ ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯೂ ಇರುವಂತೆ ಭಾಸವಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಎರಡನೆಯ ಗುಂಪಿನ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ K ಪ್ರಮಾಣ ಕಡಮೆಯಾದರೆ, ಅದು ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವ ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ನಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಒಂದು ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (β)–ಹೊರಬೀಳಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ,

$$n \rightarrow p + e^{-} + \nu \qquad (5.14)$$

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ → ಪ್ರೋಟಾನ್ + ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ + ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ.

$$[{}_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + {}_0e^{-1} + \nu]. \qquad (5.15)$$

ಪೌಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಕಣದ ಆವಶ್ಯಕತೆಯನ್ನು ಕಂಡು ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಊಹಿಸಿದನು. ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದದೆ ಭ್ರಮಣವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರುವ ಕಣ) ವಿನ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಈಗ ಸಮರ್ಥನೆ ಪಡೆದಿದೆ.

ಆದ್ದರಿಂದ ಇಂಥ ಕ್ರಿಯೆಗಳು β–ಕಿರಣ ಕ್ರಿಯೆಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಧಾತುಗಳು ತಮ್ಮ ಸುಭದ್ರ ರೂಪಗಳ ಧಾತುಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಜಡಾಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಉದಾಹರಣೆ C^{14}, N^{16}, Al^{28} ಮುಂತಾದವುಗಳು. ಇವುಗಳು, (n, p), (d, p) ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

'K' ಪ್ರಮಾಣವು ಒಂದು ಮಿತಿಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಿದ್ದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಕೊರತೆಯಿರುವ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ.

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu \qquad (5.16)$$

ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ C^{11}, N^{13}, Al^{26} ಗಳನ್ನು ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿಟ್ಟು ಕೊಳ್ಳಬಹುದು. (5.17)

ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ (Cu^{64}) ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುವುದು ತಿಳಿದುಬಂದಿವೆ.

'K' ಸಂಖ್ಯೆಯು ಕಡಮೆಯಾಗಿರುವ ಕೆಲವು ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ, ಮತ್ತೊಂದು ಸಂಭವವೂ ಉಂಟು. ಇದರಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ನಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುವ ಬದಲಾಗಿ, ಹೊರ ಪಥಗಳಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನೇ (orbital electron-capture) ಗ್ರಹಣ ಮಾಡಿಸಿ, ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಆಗಬಹುದು. ಇದರ ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೊಟ್ಟಿದೆ.

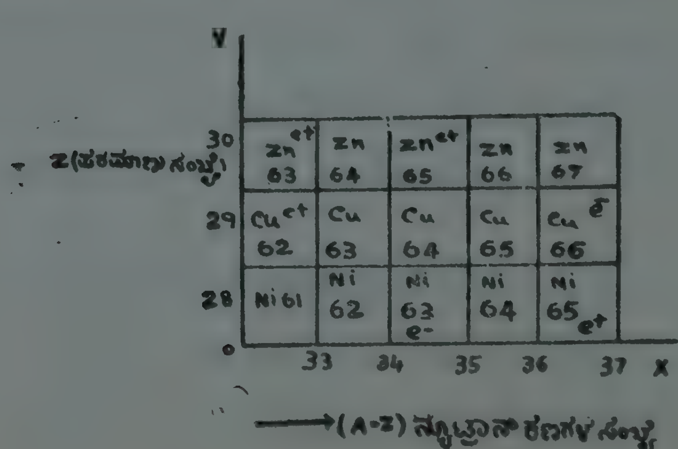
$${}_{26}Fe^{55} + {}_{-1}e^{0} = {}_{25}Mn^{55} \qquad (5.18)$$

ಎಡಗಡೆಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (${}_{-1}e^{0}$) ಕಣವು ಹೊರಗಿನ ಪಥದಿಂದ ಗ್ರಹಣವಾಗುವ ಪರಿಣಾಮವು ಸೂಚಿತವಾಗಿದೆ.

ಈ ಸಂಭವಗಳ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಲು ಬೀಜಾಂಶದ ಶಕ್ತಿಯ ಮಟ್ಟಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

5.4 ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ನಕ್ಷೆ (isotope chart)

ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿ ಧಾತುಗಳ (radio-nuclides) ವಿವಿಧ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಒಂದು ಸರಳ ನಕ್ಷೆಯು ಸಹಾಯ ವಾಗುತ್ತದೆ ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ (5.2) ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 5.2 ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ನಕ್ಷೆ

OX ಅಕ್ಷರದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯೂ, OY ಅಕ್ಷರದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ ಸೂಚಿತವಾಗಿ, ಒಂದೊಂದು ಮೂಲ ಧಾತುವಿಗೂ ಒಂದು ಚಚ್ಚೌಕವು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. Ni, Cu ಮತ್ತು Zn ಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೆಲ್ಲವನ್ನೂ ಎಡದಿಂದ ಬಲಕ್ಕೆ ಇರುವ ಚಚ್ಚೌಕಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು. ಒಂದೇ ಲಂಬ ನೇರದಲ್ಲಿ ಕೆಳಗಿನಿಂದ ಮೇಲಕ್ಕೆ (OY ಅಕ್ಷರಕ್ಕೆ ಸಮಾನಾಂತರವಾಗಿ) ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಒಂದೇ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಆ ಧಾತುಗಳ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತವೆ.

OX ಮತ್ತು OY ಗಳಿಗೆ 45^0 ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಒಂದು ಕರ್ಣರೇಖೆಯ (diagnoal) ನೇರದಲ್ಲಿ ವೀಕ್ಷಿಸಿ ಮೇಲ್ಗಡೆ ಎಡದಿಂದ ಕೆಳಗಡೆ ಬಲಕ್ಕೆ ಅಂದರೆ, (Zn 63), (Cu 63), (Ni 63) ಸಿಕ್ಕುವ ವಸ್ತುಗಳು ಸಮತೂಕಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ (isobars).

ಒಂದೊಂದು ಚಚ್ಚೌಕದಲ್ಲಿಯೂ, ಆಯಾ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳು ಸ್ವರೂಪವು [e^+ = ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್, e^- = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್] ಸೂಚಿತವಾಗಿದೆ. ಇದರಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುವ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಇನ್ನೂ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು. ಯಾವುದಾದರೂ ಚಚ್ಚೌಕದಲ್ಲಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅದರೊಂದಿಗೆ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕೂಡಿದರೆ, ನಮಗೆ ಬರುವ ವಸ್ತುವನ್ನು ಆ ಚಚ್ಚೌಕಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡಿರುವ ಮೇಲಿನ ಚಚ್ಚೌಕದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು. ಅಂದರೆ, Cu^{62}ಗೆ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸೇರಿಸಿದರೆ Zn^{63} ಬರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆಯೇ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೆ ಬದಲು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸೇರಿದರೆ, ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುವನ್ನು ಚಚ್ಚೌಕದ ಬಲಭಾಗದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು. Cu^{62}ಗೆ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸೇರಿದರೆ Cu^{63} ಆಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳು ಕೆಳಗೂ, ಎಡಕ್ಕೂ ಸಿಕ್ಕುತ್ತವೆ.

Cu^{64} ನಿಂದ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ವಿಸರ್ಜಿತವಾದರೆ, Ni^{63} ಆಗಿಯೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ವಿಸರ್ಜಿತವಾದರೆ Cu^{63} ಆಗಿಯೂ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತವೆ.

ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, ಬಿಡಿ ಚದರಗಳಲ್ಲಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನೂ ಗೀಟುಗಳನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವ ಚದರದ ವಸ್ತುಗಳು ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆಂಬುದು ನಿರೂಪಿತವಾಗಿದೆ.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಕಣಗಳ ಗ್ರಹಣ ಮತ್ತು ವಿಸರ್ಜನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದಾದ ಹಲವಾರು ಉಪಯುಕ್ತ ವಿಷಯಗಳು ಈ ವಿಧವಾದ ಚಿತ್ರದ ನಿರೂಪಣೆಯಿಂದ ಸರಳವಾಗಿ ಗ್ರಾಹ್ಯವಾಗುತ್ತವೆ.

ಅಧ್ಯಾಯ 6

ಪರಮಾಣುವಿದಲನ ಮತ್ತು ಬೀಜಾಂಶದ ಶಕ್ತಿ – ಪರಮಾಣುಸಂಯೋಜನೆ

6.1. ಪರಮಾಣುವಿದಲನ

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿರುವಂತೆ 1930 ರಿಂದ 1940ರ ವರೆಗಿನ ದಶಾಬ್ದದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಪರಿವರ್ತನೆ ಮತ್ತು ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ನೂರಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಪ್ರಪಂಚದ ವಿವಿಧ ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಚಟುವಟಿಕೆಯಿಂದ ಸಾಗುತ್ತಿದ್ದುವು. ಇವುಗಳ ಮುಖ್ಯ ಫಲಗಳನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ ಸೂಚಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಆದರೆ, ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬಹಳ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಫಲಿತವು ಕಾಣಿಸಿಕೊಂಡಿತು. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವು ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ತತ್ತ್ವಗಳಿಗೂ ನಿತ್ಯಜೀವನದ ಉಪಯುಕ್ತತೆಗೂ ಒಂದು ಹೊಸ ಮೆರುಗನ್ನೂ ಕೊಟ್ಟಿತು. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಈ ತತ್ತ್ವವು 1939 ರಲ್ಲಿ ಎರಡನೆಯ ಘೋರ ಯುದ್ಧವು ಆರಂಭವಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆ ಹೊರಬಿದ್ದಿದ್ದರಿಂದ ಆ ಯುದ್ಧದ ಚಟುವಟಿಕೆಗಳಿಗೆ ಭಯಂಕರವಾದ ರೂಪವನ್ನೂ ಕೊಟ್ಟು ಅದು ಕೊನೆಗೊಂಡ ರೀತಿಯ ಅಮಾನುಷತ್ವವು ಪ್ರಪಂಚವನ್ನೆಲ್ಲ ನಡುಗಿಸಿತು. ಈ ತತ್ತ್ವವು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೂ ಅದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸಿ 'ಪರಮಾಣುವಿದಲನ'ವೆಂದು ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿದೆ. ಈ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಇದರ ವಿವರಗಳನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಹಿಂದಿನ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹಗುರ ಕಣವೂ ಮತ್ತೊಂದು ಪರಿವರ್ತಿತ ವಸ್ತುವೂ ಇರುತ್ತಿದ್ದುವು. ಈ ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುವು ಮೂಲ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿಗೆ ಸಮೀಪ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿಯೇ ಇದ್ದಿತು. ಅಂದರೆ ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೂಲ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೊರಭಾಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಚಕ್ಕೆಯನ್ನು ತೆಗೆದಂತೆ ಪರಿಣಾಮವಿದ್ದಿತು. ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿಯೂ, ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳ ಸ್ವರೂಪವೂ ಹೀಗೆಯೇ ಇದ್ದಿತು. ಆದರೆ 1935ರಲ್ಲಿ ಹಾನ್ (Hahn), ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್ (Strasmann), ಮೈಟ್ನರ್ (Meitner), ಫ್ರಿಷ್ (Frisch),

ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಪ್ರಕಟಿಸಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೊಸ ರೀತಿ ಇದ್ದಿತು. ಒಂದು ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವು ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗುವುದರಿಂದ ಅದು ಸೀಳಿ ಎರಡು ಸಮಾನ ತೂಕಗಳ ವಸ್ತುಗಳಾಗಿ ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಹೊಂದಿ ಈ ಹೋಳುಗಳು ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ ಎಂದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಈ ಮೂಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವೇ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಾಗಿ ಅದನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿಗಳಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದ್ದಿತು. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಹೊರಬಿದ್ದ ವಸ್ತುಗಳು **ಬೇರಿಯಂ** (Ba) ಮತ್ತು **ಲಾಂಥನಂ** (La) ಆಗಿದ್ದು ಅವುಗಳು ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಹೊರಬೀಳುವುದರ ಜೊತೆಗೆ ಕೆಲವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು. ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವು $_{92}U^{235}$ ಆಗಿ, ಬೇರ್ಪಟ್ಟ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳು Mo^{95} ಮತ್ತು La^{139} ಗಳಾದರೆ, ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಪರಮಾಣುವು ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಹೊಂದುವುದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 238 MeV ಗಳಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದರಿಂದ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಗೊತ್ತಾದುವು. (1) ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವು ಕೋಷ್ಟಕದ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿದ್ದು ಅದರ ವಿದಲನದಿಂದ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳೂ ಕೋಷ್ಟಕದ ಮಧ್ಯ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. (2) ಇದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯು ಅತ್ಯಗಾಧವಾಗಿದ್ದು ಅಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಗಿದ್ದ ಉಪಕರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸುಮಾರು ಹತ್ತು ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ಸಂಶೋಧನೆಯು ಒಂದು ಹೊಸ ಅಧ್ಯಾಯವನ್ನೇ ತೆರೆದಂತಾಯಿತು.

ಈ ಪ್ರಮುಖ ಸಂಘಟನೆಯು 1939ರ ಆದಿಭಾಗದಲ್ಲಿ ಅಂತಿಮ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟವಾದರೂ, ಈ ಸಾಧನೆಯು ಸುಮಾರು ಐದು ವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ನಾನಾ ಸಂಶೋಧಕರ ನಿರಂತರ ಪರಿಶ್ರಮದ ಫಲವೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಈ ಸಾಹಸದ ಅಗ್ರ ಕೀರ್ತಿಯು ಇಟಲಿಯ ಫರ್ಮಿ (Fermi) ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ ಸಲ್ಲತಕ್ಕುದು. ಈ ಈ ಮಹನೀಯನೇ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಯುರೇನಿಯಂ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿ ಅದರ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಉದ್ಯುಕ್ತನಾದನು. ಅವನ ಎಣಿಕೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಯುರೇನಿಯಂ ($Z=92$) ವಸ್ತುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡಿದರೆ, ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯ ವಿಧಾನದ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದು ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಅದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ($Z=93$) ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ವಸ್ತುವು ಉಳಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಹೊಸ ವಸ್ತುವು ಯುರೇನಿಯಂನ ಆಚೆ ಇದ್ದು ಪರಮಾಣು ಕೋಷ್ಟಕವನ್ನು ವಿಸ್ತರಿಸುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ

ಅತೀತ ಧಾತು (transuranic element) ವಾಗಬೇಕು (Z = 93). ಈ ಊಹೆಗೆ ಬೆಂಬಲ ಸಿಕ್ಕುವಂತೆ ವಿವಿಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳನ್ನುಳ್ಳ ವಸ್ತುಗಳು ಇರುವುದಾಗಿ ಗೋಚರವಾಯಿತು. ಇವುಗಳು ನಾಲ್ಕು ಬಗೆಯುವಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳು 10 ಸೆಕಂಡು, 40 ಸೆಕಂಡು, 780 ಸೆಕಂಡು ಮತ್ತು 5400 ಸೆಕಂಡುಗಳಾಗಿದ್ದುವು. ಇವುಗಳೆಲ್ಲ β–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದರ ಪರಿಣಾಮವಾದ್ದರಿಂದ ಒಂದು ಹೊಸ ಸಂಭವವು ಇರಬೇಕೆಂದು ನಿಶ್ಚಯವಾಯಿತು. ಇದೇ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಅವನ ಸಹೋ-ದ್ಯೋಗಿಗಳು 94, 95, 96 ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನೂ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಅವುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಮ್ಯಾಂಗನೀಸ್, ಕಬ್ಬಿಣ ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ಹೋಲುವುವೆಂಬ ಅಂಶವನ್ನೂ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಿದರು.

ಇದೇ ರೀತಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರೆಸಿ, ಕ್ಯೂರಿ (Curie) ಮತ್ತು ಸ್ಯಾವಿಚ್ (Savitch) ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದರು. ಅವರ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ 3.5 ಘಂಟೆಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲವನ್ನು ಹೊಂದಿ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುವು ಲ್ಯಾಂಥನಂ (Z=57) ವಸ್ತುವಿನ ಜೊತೆಗೆ ಬೇರ್ಪಟ್ಟಿತ್ತು. ಇದು ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದ ಪ್ರಯೋಗದ ಫಲವಾಗಿತ್ತು. ಈ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುವನ್ನು 'R 3.5 ಘಂಟೆ'ಯೆಂದು ಗುರುತಿಸಿದರೇ ಹೊರತು ಅದರ ಸ್ವರೂಪವು ಇಂಥದೆಂದು ಹೊಳೆದಿರಲಿಲ್ಲ. ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಹಾನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಇದೇ ತರಹದ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮಾಡಿ ಆ ಹೊಸ ವಸ್ತುವು ಆಕ್ಟಿನಿಯಂ (actinium) ಗೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದನು. 1938ರಲ್ಲಿ ಈ ಸಂದಿಗ್ಧ ಸ್ಥಿತಿಯಿದ್ದಿತು. ಧೈರ್ಯದಿಂದ ಹಾನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಮತ್ತೊಮ್ಮೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿ, ಆ ಹೊಸ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತುವು ಬೇರಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯೆಂಬ ನಿರ್ಧಾರಕ್ಕೆ ಬಂದನು. ಇದನ್ನೇ ಹಾನ್ ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1939 ರ ಜನವರಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದರು. ಅದರ ಪ್ರಕಟನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಯುರೇನಿಯಂ–ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳು ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಮಸೂರಿಯಂ ಎಂದು ಅವುಗಳ ತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಎರಡು ಕಡೆಗಳ ತೂಕಗಳು ಸಮವಾಗುತ್ತವೆ.

Ba^{138} ಮತ್ತು Ma^{101} ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ 239 ಆಗುತ್ತದೆ.

U^{238} ಮತ್ತು ${}_0n^1$ ಒಟ್ಟು ತೂಕವೂ 239 ಆಗುತ್ತದೆ.

ಪರಿಸ್ಥಿತಿ ಹೀಗಿದ್ದರೂ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವು ಭೇದಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಮಸೂರಿಯಂ ಅಂಥ ಎರಡು ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮಾನವಾದ ತೂಕಗಳುಳ್ಳ ವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ತಿಳಿಸಲಿಲ್ಲ. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ ಅಂದಿನ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಇದು ಒಂದು ಕ್ರಾಂತಿಕರವಾದ ಪರಿಣಾಮದಂತೆ ತೋರಿತ್ತು. ಆದರೆ; ಕೆಲವು ದಿವಸಗಳಲ್ಲಿ ಮೈಟ್ನರ್ ಮತ್ತು ಫ್ರಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ 'ವಿದಲನ ತತ್ತ್ವ'ವನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿ ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದರು.

ಈ ಸಣ್ಣ ಚಾರಿತ್ರಿಕ ಪರಿಶೀಲನೆಯ ಉದ್ದೇಶವೇನೆಂದರೆ — ಪ್ರಕೃತಿಯ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಪ್ರಯತ್ನಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಅನೇಕ ಸಾರಿ, ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಹೊಸ ಸಂಭವಗಳು ಕಣ್ಣಿಗೆ ಎತ್ತಿದಂತೆ ಕಾಣುತ್ತಿದ್ದರೂ, ಕೆಲವು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ದುರದೃಷ್ಟದಿಂದ ಅವುಗಳ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸುವ ಮನೋಭಾವವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಅವುಗಳನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿ ಕೀರ್ತಿ ಪಡೆಯುತ್ತಾರೆ. ಮೇಲಿನ ನಿರೂಪಣೆಯಲ್ಲಿ ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಸ್ಯಾವಿಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಸ್ವಲ್ಪ ಧೈರ್ಯ ಮಾಡಿದ್ದರೆ, ಅಗ್ರ ಕೀರ್ತಿಯು ಅವರಿಗೆ ಹೋಗುವ ಸಂಭವವಿದ್ದಿತು. ಅವರ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಕೈಗೆ ಬಂದ ತುತ್ತು ಬಾಯಿಗೆ ಬಂದ ಹಾಗಾಗಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ವಿಜ್ಞಾನದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇಂಥ ಪ್ರಸಂಗಗಳಿಗೆ ಹಲವಾರು ನಿದರ್ಶನಗಳು ಸಿಕ್ಕುತ್ತವೆ.

6-2 ಪರಮಾಣುವಿದಲನ ವಿಧಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು.

ಮೊದಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವೇ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ಪ್ರಯೋಗಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಮಂದ ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು.

ಶಾಖ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮಾನವಾದ (thermal neutrons) ವೇಗವುಳ್ಳ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕರೆ ಅದರಲ್ಲಿಯೇ ಅದು ಲೀನವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವು ಅಸ್ಥಿರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಅದರಲ್ಲಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಬಹಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುವುದರಿಂದ ಅದು ಎರಡು ಸುಮಾರು ಸಮತೂಕದ ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ಈ ಎರಡು ಹೋಳುಗಳು ಅಪಾರವಾದ ಚಲನಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೊಂದಿಗೆ ಕೆಲವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕೂಡ ಅತಿ ರಭಸದಿಂದ

ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಎರಡು ಹೋಳುಗಳು ಎರಡು ಗುಂಪುಗಳಿಗೆ ಸೇರಿರುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಗುಂಪಿನ ಸರಾಸರಿ ತೂಕ ಸಂಖ್ಯೆ 90 ಆಗಿ ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್ (Kr) ಗೆ ಸಮೀಪ ವರ್ತಿಗಳಾಗಿಯೂ, ಮತ್ತೊಂದು 140 ತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಕ್ಸೀನಾನ್ (Xe) ಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿಯೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳು ಈ ಎರಡು ಗುಂಪುಗಳಿಗೂ ಸೇರಿದ ಜೋಡಿ ಬೀಜಾಂಶ ಗಳಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಈ ಜೋಡಿ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಸಮಾನ ತೂಕಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ ರುವುದಿಲ್ಲ. ಈ ವಿದಲನವಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಮಾದರಿಗಳಿದ್ದು, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಹೊರ ಬೀಳುವ ತುಂಡುಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಭೇದಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಸುಮಾರು 40 ಬಗೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ನಡೆಯ ಬಹುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಎರಡು ಭಾಗಗಳನ್ನಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಿದರೆ, ಒಂದು ಹಗುರ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರಿದ್ದು ಇವುಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು 85 ರಿಂದ 104ರ ವರೆಗೂ ಇರುತ್ತವೆ ; ಎರಡನೆಯುದು ಭಾರ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರಿದ ಬೀಜಾಂಶ ಗಳಾಗಿದ್ದು ಇವುಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳು 130 ರಿಂದ 149ರ ವರೆಗೆ ಇರುತ್ತವೆ. ಒಂದೊಂದು ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ಎರಡು ತುಂಡುಗಳೂ ಮೇಲಿನ ಎರಡು ಗುಂಪುಗಳ ಸೂಕ್ತ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಸೇರಿರುತ್ತವೆ.

ಈ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಭಾಗವಹಿಸುವ ಯುರೇನಿಯಂ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ${}_{92}U^{235}$ ಆಗಿದ್ದು ಇದಕ್ಕೂ ${}_{92}U^{238}$ಗೂ ಇರುವ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 1 : 140 ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ವಿವಿಧ ಭೇದಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದಕ್ಕೂ ಒಂದೊಂದು ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಇರುತ್ತದೆ. ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ, ಎರಡು ತುಂಡುಗಳೂ 103 ಮತ್ತು 131 ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಸುಮಾರು 3.5% ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂಭವನೀಯತೆಯನ್ನು ಒಂದು ನಕ್ಷೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಬಹುದು. ಈ ತುಂಡುಗಳ ಹೊರಬೀಳುವ ವೇಗಗಳು ಅವುಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳಿಗೆ ವಿಲೋಮ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ (inverse) ಇರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಅವುಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳು m_1, m_2 ಆಗಿ, ಅವುಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ವೇಗಗಳು v_1 ಮತ್ತು v_2 ಆದರೆ

$$\frac{m_1}{m_2}=\frac{v_2}{v_1} \tag{6.1}$$

ಅವುಗಳ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿಗಳು (kinetic energies) E_1, E_2 ಆದರೆ

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{m_2}{m_1} \tag{6.2}$$

ಈ ತುಂಡುಗಳು Kr ಮತ್ತು Xe ಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪ್ರಮಾಣವು 1:45 ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

$_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಂದು ಮಂದವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಒಳ ಹೊಕ್ಕರೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶದ ಒಟ್ಟು ತೂಕವು 236 ಆಗಿ, ಇದರ ವಿದಲನದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳು $_{36}Kr^{87}$ ಮತ್ತು $_{56}Xe^{137}$ ಆದರೆ, ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು ಒಟ್ಟು ತೂಕವು 236ಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಒಂದೊಂದು ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು $_{92}U^{235}$ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಇವುಗಳ ಸರಾಸರಿ 2.47 ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಹೀಗೆಯೇ $_{93}Pu^{239}$ ಮತ್ತು $_{92}U^{233}$ ಬೀಜಾಂಶಗಳೂ ಕೂಡ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದಿಂದ ಭೇದಿಸಲ್ಪಟ್ಟರೆ, ಎರಡು ದೊಡ್ಡ ತುಂಡುಗಳ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 2.91 ಮತ್ತು 2.55 ಸರಾಸರಿ ಸಂಖ್ಯೆಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಹೊರಬೀಳುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ 10^{-12} ಸೆಕಂಡಿನಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಕೇವಲ 0.75% ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಮಾತ್ರ ವಿಲಂಬಿತ (delayed) ವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ.

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶದ ವಿದಲನದಿಂದ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 40 ವಿಧಗಳಿರುವುದರಿಂದ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಭೇದಗಳು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಈ ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು ತತ್ತ್ವವು ಮಾತ್ರ ಇರುತ್ತದೆ. ಮೂಲ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಯ ಒಟ್ಟು ಪ್ರಮಾಣವು ಹೊರಬೀಳುವ ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳ ಜಡಾಂಶ ತೂಕಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಇದ್ದು ಇವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇ ನಮಗೆ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ದೊರಕುವ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಧವಾದ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರವನ್ನು ಮಾಡುವಾಗ ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಜಡಾಂಶ–ಶಕ್ತಿಗಳ ಸಮಾನತ್ವದ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿ ಇಡಬೇಕು. ಇದು $E = Mc^2$. ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ,

1 ಪರಮಾಣು ತೂಕ (1 a.m.u. = 1.646×10^{-24} ಗ್ರಾಂ) ದ ನಿರ್ಮೂಲನದಿಂದ ನಮಗೆ ಸಿಕ್ಕುವ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯು 931 MeV ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಲಭಿಸುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣ ಗಳನ್ನು ಈಗ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಮಾಡಬಹುದು.

6.3 ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಶಕ್ತಿವಿಸರ್ಜನೆಯ ಪ್ರಮಾಣ

ವಿದಲನದ ವಿಧಾನವು ಗೊತ್ತಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆ ಅಂದರೆ, 1939ಕ್ಕೆ ಹಿಂದೆ, ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಅತ್ಯಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವೆಂದರೆ ಸುಮಾರು 22.2 MeV ಆಗಿದ್ದಿತು. ಇದು ಲಿಥಿಯಂ $_3Li^6$ ಬೀಜಾಂಶದ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿದ್ದಿತು. ಆದರೆ, ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 200 MeV ಎಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಮೇಲೆ ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಜಡಾಂಶವು ಶಕ್ತಿಯ ರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಿರುವುದನ್ನೇ ಅವಲಂಬಿಸಿರಬೇಕೆಂದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಯಿತು.

ಈಗ ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳೋಣ.

$$_{92}U^{235} + {_0n^1} \rightarrow {_{38}Mo^{95}} + {_{54}La^{139}} + 2\,{_0n^1} + Q \qquad (6.3)$$

U^{235} ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕ = 235.118 a.m.u.

$_0n^1$ ಕಣದ ತೂಕ = 1.009 a.m.u.

ಮೊತ್ತ = 236.127 a.m.u.

ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳು :

$_{38}Mo^{95}$ ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕ = 94.936 a.m.u.

$_{54}La^{139}$ ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕ = 138.950 a.m.u.

ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು = 2.018 a.m.u.

ಮೊತ್ತ = 235.904 a.m.u.

ಅಂದರೆ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ತೂಕದ ಮೊತ್ತ ನಾಶ

= (236.127—235.904) a.m.u.

= 0.223 a.m.u.

ಆದರೆ 1 a.m.u. = 931 MeV

∴ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿ $= 0.223 \times 931$
$= 208$ MeV $= Q$ —— (6.4)

ಇದೇ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೇ ಮತ್ತೊಂದು ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬಹುದು.

${}_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶದ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ (binding energy) $= 235 \times 7.6$ MeV,

(ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ 7.6 MeV ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು).

ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳಾದ Mo ಮತ್ತು La ಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ 8.5 MeV ಯ ಪ್ರಕಾರ ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ 236 ಬೀಜಕಣಗಳು ಭಾಗವಹಿಸುವುದರಿಂದ,

{ 92 ಪ್ರೋಟಾನ್ + 144 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ }

$\left[{}_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \right]$ = (ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶ ${}_{92}U^{236}$ $+ 236 \times 7.6$ MeV)

ಹಾಗೆಯೇ ವಿದಲನ ತುಂಡುಗಳು ಮತ್ತು 2 ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಜೊತೆಗೆ ಇರುವ 236 ಆಗಿ,

{ 92 ಪ್ರೋಟಾನ್ + 144 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ } $\left| {}_{58}Mo^{95} + {}_{54}La^{139} \middle| + {}_{2}n^{1} \right|$
$+ 236 \times 8.5$ MeV ಆಗುತ್ತದೆ.

ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು

$236 \times (8.5 - 7.6) = 236 \times 0.9 = \underline{200 \text{ MeV}}$
(ಸುಮಾರು) ಆಗುತ್ತದೆ. (6.5)

ಇದರಿಂದ ಏನು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆಂದರೆ, ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವಲ್ಲಿ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯು ಒಂದು ಬೀಜ ಕಣಕ್ಕೆ 7.6 MeV ಮಾತ್ರ ಇರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ,

ವಿದಲನದ ತುಂಡುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯು ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ 8.5 MeV ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಇವುಗಳ ವಿಸರ್ಜನೆಯಿಂದ ಒಂದೊಂದು ಕಣಕ್ಕೂ ಸುಮಾರು 0.9 MeV ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದೇ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಲಭಿಸುವ ಅಪಾರ ಶಕ್ತಿಯ ಸರಳ ತತ್ತ್ವ.

ಈ ಅಂಶವನ್ನು ವ್ಯಕ್ತಪಡಿಸಲು ಕೆಳಗಿನ ನಕ್ಷೆಯ ನಿರೂಪಣೆಯು (ಚಿತ್ರ 6.1) ಸಾಧಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದು ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿಯೂ, ಅದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ವಿವಿಧ ಬೀಜಕಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಡಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯು (binding energy) ಒಂದು ಖಚಿತವಾದ ಧನ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಅದರ ಒಟ್ಟು ತೂಕವು ಅದರ ಎಲ್ಲ ಬಿಡಿ ಕಣಗಳ ಮೊತ್ತ ತೂಕಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿರಬೇಕು. ಈ ಬಂಧನದಿಂದ ಬಿಡಿಸಿ, ಒಂದು ಕಣವನ್ನು ಹೊರಗೆ ವಿಸರ್ಜಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ವಿಮೋಚನ ಶಕ್ತಿ (separation energy) ಯೆಂದು ಕರೆಯುಬಹುದು. ಒಂದು ಬೀಜಾಂಶದ ಸ್ಥಿರತೆಯ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಈ ಮಾನವನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲು, ಬೀಜಾಂಶದ ಒಟ್ಟು ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅದರಲ್ಲಿರುವ ಮೊತ್ತ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯಿಂದ ಭಾಗಿಸಿದರೆ ಬರುವ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ನಿಗದಿ ಮಾಡುತ್ತೇವೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ವಿಶದ ಪಡಿಸಬಹುದು.

ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಬೀಜಾಂಶ $_1H^2$ = 1 ಪ್ರೋಟಾನ್ + 1 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್.

$_1H^2$ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ 2.014735 a.m.u.

1 ಪ್ರೋಟಾನ್ + 1 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (ಜಡಾಂಶ) $= \left.\begin{matrix} 1.008142 \\ +\ 1.008982 \end{matrix}\right\}$

$= 2.017124$ a.m.u.

∴ ಜಡಾಂಶದ ಕೊರತೆ $= 0.002389$ a.m.u.

∴ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ (E) $= .002389 \times 931$ MeV

$= \underline{2.225 \text{ MeV}}$

ಎರಡು ಬೀಜಕಣಗಳಿರುವುದರಿಂದ

$$\overline{B} = \frac{\text{ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ}}{\text{ಬೀಜಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ}} = \frac{2.225}{2} = \underline{1.112} \text{ MeV} \quad (6.6)$$

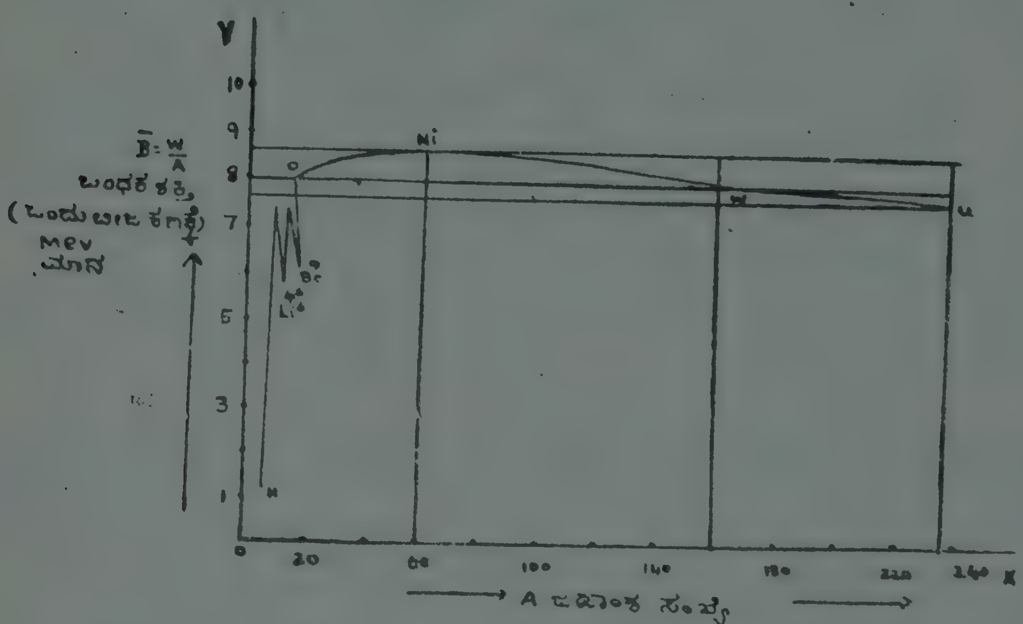
ಹೀಗೆಯೇ $_{92}U^{238}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ

ತೂಕದ ಕೊರತೆ = 1.9355 a.m.u.

∴ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ = 1802 MeV

$$\overline{B} = \frac{\text{ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ}}{\text{ಬೀಜಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ}} = \frac{1802}{238} = \underline{7.6} \text{ MeV} \quad (6.7)$$

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ ಬೀಜಾಂಶ (Nuclides) ಗಳಿಗೂ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರ ಮಾಡಿದರೆ, ಕೆಳಗಿನ ನಕ್ಷೆಯಿಂದ ಅದನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 6.1 ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು

ಈ ಚಿತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, (A = 20 to A = 183) ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು (ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ) 8 MeV ಮೇಲೆಯೇ ಇದ್ದು 8.8 MeV ಮಿತಿಯನ್ನು ಮುಟ್ಟಿ ಸರಾಸರಿ 8.5 MeV ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು. A = 200 ಯಿಂದ ಆಚೆ ಇರುವ ಭಾರವಾದ ಕೊನೆಯ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಈ ಸಂಖ್ಯೆಯು U^{238}ರ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಕೇವಲ 7.6 MeV ಗೆ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಕಾರಣದಿಂದಲೇ, U^{235} ಬೀಜಾಂಶವು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ಗ್ರಹಣದ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಎರಡು ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ವಿದಲನ ಹೊಂದುವಾಗ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎರಡು

ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಕೋಷ್ಟಕದ ಮಧ್ಯಭಾಗಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟು ನಮಗೆ ಒಂದೊಂದು ಕಣಕ್ಕೂ (8.5–7.6) = 0.9 MeV ಶಕ್ತಿಯು ಲಭಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಒಟ್ಟು ಕಣಗಳು 236 ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು (236 × 0.9) = (ಸುಮಾರು) 200 MeV ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ತಲಪಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಉದ್ಭವಿಸುವ ಬೃಹತ್ ಶಕ್ತಿಯ ಸ್ಥೂಲ ತತ್ತ್ವ.

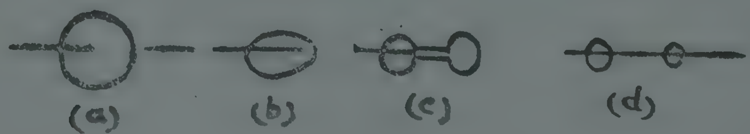
6.4 ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಗೂ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಗೂ ಇರಬಹುದಾದ ಸಂಬಂಧ

ಇದುವರೆಗೂ ನಿರೂಪಿಸಲಾಗಿರುವ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಬಂದಿರುವ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು ನಾವು ಬೀಜಾಂಶದ ರೂಪದ ವಿಚಾರದಲ್ಲಿ ಯಾವ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು ಎಂಬುದನ್ನು ಈಗ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ವಿಮರ್ಶಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ ಈ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯು ಯುರೇನಿಯಂನಂಥ ಅತಿ ಭಾರವಾದ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವು ಹೀಗಿರಬಹುದು. ಅವರ ಒಟ್ಟು ತೂಕವು ಅದರ ಬಿಡಿ ಕಣಗಳಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಮೊತ್ತ ತೂಕಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದು ಒಂದು ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು ಅದನ್ನು ಹೇಗಾದರೂ ವಿಭಾಗ ಮಾಡಿದರೆ, ಸ್ವಲ್ಪ ಜಡಾಂಶವು ನಿರ್ಮೂಲನ ಹೊಂದಿ ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಈ ವಿಷಯವನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ, ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉದ್ಭವಿಸುವ ಎರಡು ಹೋಳು ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡು, ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಂಕಿ ಅಂಶಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಿದ್ದಾಗಿದೆ. ಈಗ ಇರುವ ಪ್ರಶ್ನೆಯೇನೆಂದರೆ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವು ತಾನಾಗಿಯೇ ಏಕೆ ಬಿರಿಯಬಾರದು ? ಹೊರಗಿನಿಂದ ಒಂದು ಮಂದವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗ್ರಹಣವು ಏತಕ್ಕೆ ಆವಶ್ಯಕವೆಂಬುದನ್ನು ವಿವರಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ತರ್ಕವನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದರೆ, ಸುಮಾರು 140 ಕ್ಕಿಂತ ಮೇಲಿನ ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (A = mass number) ಯುಳ್ಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯು ಕ್ರಮೇಣ ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತಹೋಗುವುದರಿಂದ (ಚಿತ್ರ 6.1) ಅವುಗಳೂ ಕೂಡ ಸ್ವಯಂ ಸ್ಫೋಟಕದ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ನೋಡಿದಲ್ಲಿ 181 ತೂಕದ ಟಾಂಟಲಂ (tantalum) ವಸ್ತುವಿಗಿಂತ ಹಗುರವಾದ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ವಿದಲನವು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

ಇವುಗಳಿಗೆ ಸಮಂಜಸವಾದ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ನೀಡಲು ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒಂದು ದ್ರವಬಿಂದುವಿನ ರೂಪವನ್ನು (liquid-drop model) ಕಲ್ಪಿಸುವ ಪ್ರಯತ್ನವು ಸಫಲವಾಗಿದೆ. ಈ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಭೋರ್ (Bohr) ಮತ್ತು ವ್ಹೀಲರ್ (Wheeler) ಮುಖ್ಯ ಕಾರಣರಾಗಿದ್ದಾರೆ. ಈ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಬೀಜಾಂಶದ ರೂಪಭೇದಗಳಿಗೂ ದ್ರವಬಿಂದುವಿನ ರೂಪಭೇದಗಳಿಗೂ ಹೋಲಿಕೆಯನ್ನು ಮಾಡಲಾಗಿದೆ.

ಈಗ ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಿರುವ ಹಾಗೆ ನೀರು (ಅಥವಾ ಬೇರೆ ದ್ರವ) ಬಿಂದುವಿನ ಗಾತ್ರಕ್ಕೂ ಅದರ ರೂಪಕ್ಕೂ ಒಂದು ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವಿದೆ. ಗಾತ್ರ ಪ್ರಮಾಣವು ಅತಿ ಸಣ್ಣದಾಗಿರುವ ಬಿಂದುಗಳು ಗೋಳಾಕಾರದ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಏಕೆಂದರೆ ಈ ಸಣ್ಣ ಬಿಂದುಗಳಲ್ಲಿ ಮೇಲ್ಮೈ ಎಳೆತ (surface tension) ಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಬಲಗಳೇ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಗುರುತ್ವ ಬಲಗಳ ಪ್ರಭಾವವು ಗಣನೀಯವಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಹೀಗಿರುವುದರಿಂದ ಅತಿ ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರಬೇಕಾದರೆ, ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿಯು ಕನಿಷ್ಠವಾಗಿರುವ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ, ಗೋಳಾಕಾರದ ಮೇಲ್ಮೈಯಿನ ಕ್ಷೇತ್ರಫಲವೂ ಕನಿಷ್ಠವಾಗಿದ್ದು, ಗೋಳಾಕಾರದ ರೂಪವೇ ಈ ಸ್ಥಿತಿಗೆ ಅನುಕೂಲವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿ, ಬಿಂದುವನ್ನು ವಿಕಾರಗೊಳಿಸಿ ಬೇರೆ ಎರಡು ಬಿಂದುಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಅಪಾರವಾದ ಹೊರಗಿನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಹೀಗೆ ಒದಗಿಸಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಿಸುತ್ತಹೋದರೆ, ದ್ರವಬಿಂದುವಿನ ಗೋಳಾಕೃತಿಯೂ ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ರೂಪವಿಕಾರ (distortion) ವನ್ನು ಮೆಲ್ಮೈ ಎಳೆತದ ಬಲಗಳು ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ತಡೆಯುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಹೊರಗಿನ ಬಲಗಳು ಒಂದು ಮಿತಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾದರೆ, ಗೋಳಾಕಾರವು ದೀರ್ಘವೃತ್ತದ ರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಒಂದು ಇಗ್ಗುಂಡು (dumb-bell) ರೂಪವಾಗಿ, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಎರಡು ಸಣ್ಣ ಬಿಂದುಗಳಾಗಿ ಒಡೆಯುತ್ತದೆ. ಈ ವಿವಿಧ ಹಂತಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರವು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 6.2 ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ದ್ರವಬಿಂದುವಿನ ರೂಪದ ಆಕೃತಿ

ಈ ಹೋಲಿಕೆಯನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೂ ಅದರ ಸ್ಥಿರ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಗೋಳಾಕೃತಿ (a) ಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕು. ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಬಂಧಕ ಬಲಗಳಿಂದ ಇದು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ,

ಸಮಾನ ಧನಾಂಶಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ವಿಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿದ್ದು, ಆ ಅಲ್ಪಾವಧಿ (short range — 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ.) ಬಂಧಕ ಬಲಗಳು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಿಂದ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಈಗ ಸಾಮಾನ್ಯ ವೇಗದ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಈ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕರೆ ಅದು ಆದರಲ್ಲಿ ಲೀನವಾಗುತ್ತದೆ. ಲೀನತೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒಂದು ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿ (excited) ಯಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಾಂಶವು ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಅದರ ರೂಪವು ವಿಕಾರ ಹೊಂದಿ (b) ರೂಪವನ್ನು ತಾಳುತ್ತದೆ. ಹೊರಗಿನಿಂದ ಬಂದ ಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚಾದರೆ γ–ವಿಕಿರಣವೋ ಅಥವಾ ಒಂದು ಬೀಜಕಣದ ವಿಸರ್ಜನೆಯೋ ಆಗುವ ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಆಂದೋಳನಗಳಾದಮೇಲೆ ಹಳೆಯ ರೂಪವನ್ನು ತಾಳುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಇನ್ನೂ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಿದಲ್ಲಿ, ಇಗ್ಗುಂಡಿನ ರೂಪವು (c) ಸಾಧ್ಯವಾಗಿ, ವಿಕರ್ಷಕ ಶಕ್ತಿಗಳು ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದಿ, ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯು ಅಲ್ಪವಾಗಿ (d) ರೂಪದ ಪ್ರಕಾರ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ವಿಭಾಗ ಹೊಂದುವುದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಮುಂದುವರಿಸಿ, ಈ ಎರಡು ಹೋಳುಗಳ ತೂಕಗಳೂ ಅಸಮವಾಗಿರುವುದಕ್ಕೂ ಕಾರಣವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿರುತ್ತಾರೆ.

ಈ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ವಿದಲನವು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬೇಕಾದರೆ ಗೋಳಾಕೃತಿಯನ್ನು ಇಗ್ಗುಂಡು ರೂಪಕ್ಕೆ (c) ವಿಕಾರ ಮಾಡಲಾಗುವಂತೆ ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗಿನಿಂದ ಒದಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕನಿಷ್ಠ ಮಿತಿ (critical energy) ಯು ಬೀಜಾಂಶದ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ (Z) ಮತ್ತು ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನೂ (A) ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಭೋರ್, ವ್ಹೀಲರ್‌ಗಳ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಬೀಜಾಂಶದ ವಿದಲನವು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬೇಕಾದರೆ

$$\frac{Z^2}{A} > 45 \qquad (6.8)$$

ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ${}_{92}U^{233}$ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ $\frac{Z^2}{A} = 36.4$; ${}_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ 36.0 ; ${}_{92}Pu^{239}$ಗೆ 37.0 ಇರುತ್ತವೆ.

${}_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒದಗಿಸಬೇಕಾದ ಕನಿಷ್ಠ ಶಕ್ತಿಯು 6.1 MeV ಆಗಿರಬೇಕು. ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೂ ಸ್ವಲ್ಪ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಆದರೂ, ಹಗುರವಾದ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ವಿದಲನವಾಗಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲವೆಂಬುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ.

ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಒದಗಿಸ ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಯು 6.1 MeV ಆಗಿಯೂ, $_{92}U^{238}$ಗೆ, 7.0 MeV ಆಗಿಯೂ ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ವಿದಲನ ಮಾಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯ. ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಇದಕ್ಕಿಂತ ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದರೂ, ಕ್ರಿಯೆಯು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಈ ವಿದಲನದ ಕ್ರಿಯೆಯ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಭವನೀಯತೆಗೂ, Z ಮತ್ತು A ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದಿದ್ದಾರೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ವಿದಲನವಾಗುವ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ Z ಮತ್ತು A ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಸಮಸಂಖ್ಯೆ (even) ಗಳಾಗಿರಬೇಕು. ಒಂದು ಸಮವಾಗಿಯೂ ಒಂದು ವಿಷಮ (odd) ವಾಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, ಅಥವಾ ಎರಡೂ ವಿಷಮವಾಗಿದ್ದಲ್ಲಿ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಿರಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗ್ರಹಣವಾದರೆ, ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜಾಂಶದ $A = 236$, $Z = 92$. ಎರಡೂ ಸಮ—ವಿದಲನದ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಹೆಚ್ಚು. $_{92}U^{238}$ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸೇರಿದರೆ $A = 239$ (ವಿಷಮ), $Z = 92$ (ಸಮ) ; ಸಾಧ್ಯತೆ ಅಲ್ಪ. ಹೀಗೆಯೇ $_{92}U^{233}$ ಮತ್ತು $_{92}Pu^{239}$ ಬೀಜಾಂಶಗಳೊಡನೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗ್ರಹಣವಾದರೆ, ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯು ಸುಲಭವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಇನ್ನೂ ಕೆಲವು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಗಣನೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ಯುರೇನಿಯಂ ($_{92}U^{235}$) ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳಹೋಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಶಕ್ತಿ (thermal energies) ಗಳಿದ್ದರೂ ಸಾಕೆಂದು ಊಹಿಸಲಾಗಿದೆ.

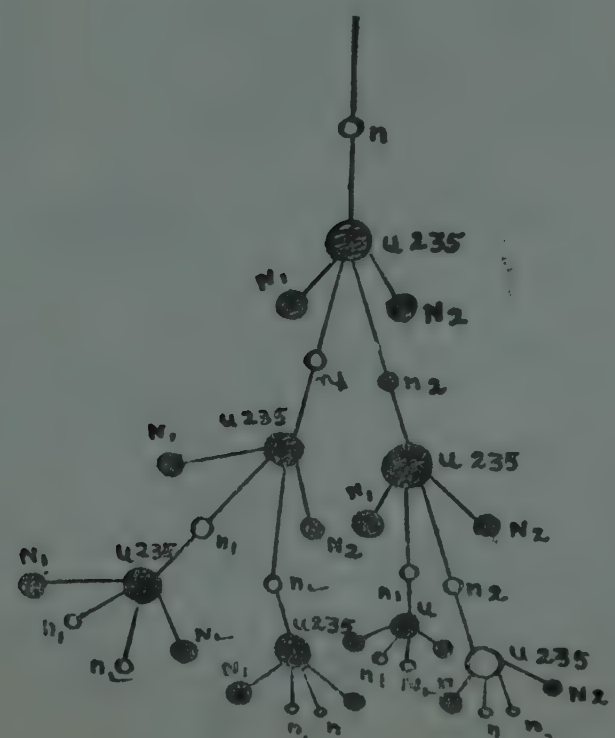
ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಹೊಂದುವ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳೂ ಅಗಾಧವಾದ ಚಲನಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದಲ್ಲದೆ ಅವುಗಳು ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿ ಹಲವಾರು ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡಿ β– ಮತ್ತು γ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ವೈವಿಧ್ಯವೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾಲಗಳು ಹಲವು ಸೆಕಂಡುಗಳಿಂದ ಹಿಡಿದು ಹಲವಾರು ದಿವಸಗಳೂ, ವರ್ಷಗಳೂ ಆಗಿರಬಹುದಾಗಿದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಎರಡು ಮಾದರಿ ಸರಪಳಿಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುತ್ತದೆ.

$$_{36}Kr^{97} \rightarrow {}_{37}Rb^{97} \rightarrow {}_{38}Sr^{97} \rightarrow \ldots\ldots \rightarrow {}_{42}Mo^{97} \text{ (ಸುಭದ್ರ)}$$

$$_{54}Xe^{143} \rightarrow {}_{55}Cs^{143} \rightarrow {}_{56}Ba^{143} \rightarrow \ldots\ldots \rightarrow {}_{60}Nd^{143} \text{ (ಸುಭದ್ರ)} \quad (6.9)$$

6.5 ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ವಿಸರ್ಜನೆಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಬಳಸುವ ವಿಧಾನ-ಸರಪಳಿ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ

ಕೇವಲ 0.03 eV ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವುದರ ಫಲವಾಗಿ, ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 200 MeV ಎಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಅಂದರೆ, ಇದು ಮೂಲ ಕ್ಷಿಪಣೆಯಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ನೂರಾರು ಕೋಟಿ ಪಾಲು ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲ. ಈ ಶಕ್ತಿಯ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 2 ಅಥವಾ 3 ಅತಿ ವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಹೊರಬೀಳುವ ಒಂದೊಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಮತ್ತೊಂದು ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶದೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆಯಾಗಿ ಈ ವಿದಲನದಿಂದ ಮತ್ತೆ 2 ಅಥವಾ 3 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಬರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಕೂಡ ಬೇರೆ ಯುರೇನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ವಿದಲನಮಾಡಿ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಪರಂಪರೆಯಾಗಿಯೂ ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ ಸಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದು U^{235} ಬೀಜಾಂಶದ ವಿದಲನದಿಂದಲೂ ಸುಮಾರು 200 MeV ಶಕ್ತಿಯು ಲಭಿಸುವುದರಿಂದ, ಇಂಥ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಬಹುಗುಣವಾಗಿ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತವೆಯಾದ್ದರಿಂದ, ನಮಗೆ ಹಸ್ತಗತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಒಟ್ಟು ಪ್ರಮಾಣವು ಬೃಹದಾಕಾರವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಸರಪಳಿಯ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯ ವಿಧಾನದ ತತ್ತ್ವ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 6.3 ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯ ಸರಪಳಿಯ ವಿಧಾನ

ಈ ಶಕ್ತಿಯು ಎಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರವನ್ನು ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಬಹುದು.

ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ತೂಕದ $_{92}U^{235}$ ವಸ್ತುವನ್ನು ಪೂರ್ಣವಾಗಿ ವಿದಲನಗೊಳಿಸುವುದರಿಂದ ಲಭಿಸುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣ :

ಒಂದು ಬೀಜಾಂಶವು ವಿದಲನಗೊಂಡರೆ, ಹೊರಗೆಡಹುವ ಶಕ್ತಿ $= 200$ MeV

$$[1\ \text{MeV} = 1.6 \times 10^{-6}\ \text{ಎರ್ಗ್}]$$

$$= 200 \times 1.6 \times 10^{-6}\ \text{ಎರ್ಗ್}$$

$$\therefore \quad [1\ \text{watt} = 10^{7}\ \text{ಎರ್ಗ್‌ಗಳು}]$$

$$= 3.2 \times 10^{-4}\ \text{ಎರ್ಗ್}$$

$$= 3.2 \times 10^{-11}\ \text{ವಾಟ್-ಸೆಕಂಡ್}$$

1 ಗ್ರಾಂ ಆಟಂ (1 g-atom) $=$ [235 ಗ್ರಾಂ]. 1 ಗ್ರಾಂ ತೂಕದ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಇರುವ ಒಟ್ಟು ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ $= 6.02 \times 10^{23}$.

ಆದ್ದರಿಂದ ಇದರ ವಿದಲನದಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿ

$$= 6.02 \times 10^{23} \times 3.2 \times 10^{-11}\ (\text{watt-sec})$$

$$= 1.93 \times 10^{13}\ (\text{watt-sec})$$

$\therefore$ 1 ಗ್ರಾಂ ತೂಕದ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿ

$$= \frac{1.93 \times 10^{13}}{235} = \underline{8.2 \times 10^{10}}\ \text{watt-sec}$$

$$= 2.3 \times 10^{4}\ \text{kWH (kilo-watt hours)}$$

(ಕಿ.ವಾ.ಘಂ.).

$$= \frac{2.3 \times 10^{4}}{24}\ \text{kW days} = 9.6 \times 10^{2}\ \text{kW days} \tag{6.10}$$

ಅಂದರೆ, ಈ ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪನ್ನದ ದರವು ಒಂದು ದಿವಸದ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 1000 kW ಅಥವಾ 1 megawatt ಆಗುತ್ತದೆ.

ಇದೇ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಇಂಗಾಲ ಅಥವಾ ತೈಲವನ್ನು ಉರಿಸುವುದರಿಂದ ಬರುವ ಶಾಖಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, 3 ಟನ್ ಕಲ್ಲಿದ್ದಲು ಅಥವಾ ಸುಮಾರು 700 ಗ್ಯಾಲನ್

ಇಂಧನ ಎಣ್ಣೆಯು ಬೇಕಾಗುವುದು. ಈ ಮೇಲಿನ ಲೆಕ್ಕದಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯ ಪರಿಣಾಮವು ಸೇರಿಲ್ಲ.

6.6 'ಆಟಂಬಾಂಬ್' (ಪರಮಾಣುಗುಂಡು) ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಮಂದವೇಗದಿಂದ ಒಂದು ಯುರೇನಿಯಂ $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕು ಅದನ್ನು ಎರಡು ಭಾಗಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಿ ಅಗಾಧ ವೇಗದಿಂದ ಹೊರಡಿಸುವುದಲ್ಲದೆ ಸುಮಾರು ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನೂ ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನುಳಿದು ಮಿಕ್ಕ ಎರಡು ಕಣಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಗಾಗಿ ಪುನಃ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದಾದರೆ, ಈ ಎರಡು ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಂದ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯು ನಡೆದು 4 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಹೀಗೆಯೇ ದ್ವಿಗುಣವಾಗುತ್ತಹೋಗುವ ಕ್ರಿಯೆಯು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವುದರಿಂದ, ಈ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಅತ್ಯಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಸಂಗ್ರಹವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆ. ಯಾವ ಪ್ರತಿಬಂಧಕವೂ ಇಲ್ಲದೆ ಈ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯ ಸರಪಳಿಯು ಸಂತತಿಗಳು ಶಕ್ತಿಯ ವೃದ್ಧಿಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚುಗೊಳಿಸಿದರೆ, ಇದು ಸ್ವಯಂಧಾರಕವಾಗಿದ್ದು (self–sustaining) ಅನಿಯಂತ್ರಿತ (uncontrolled) ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಬೆಳೆದು ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಹೊಂದಬಹುದು.

ಈ ಸರಪಳಿಯು ಬೆಳೆಯುವ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಮೇಲೆ ತೋರಿಸಿದೆ. ಯುರೇನಿಯಂ ಆಕ್ಸೈಡಿನ ಒಂದು ಘನ ಮೀಟರ್ ಗಾತ್ರದ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ 0.01 ($\frac{1}{100}$ ಸೆಕಂಡ್) ಸೆಕಂಡ್‌ಗಿಂತ ಕಡಮೆ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 10^{12} kWH (ಕಿಲೋವಾಟ್ ಅವರ್) ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ವಿಧ್ವಂಸಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಅದೇ 'ಆಟಂಬಾಂಬ್' (atom-bomb) ಆಗುವುದು. ಇದರ ವಿನಾಶ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಆಸ್ಫೋಟಕಗಳಿಗಿಂತ ಲಕ್ಷಾಂತರ ಪಾಲು ಮಿಗಿಲಾದುದು.

ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ ಪರಂಪರೆಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಾಗುವ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸುವುದು ಅಷ್ಟೇನೂ ಸುಲಭದ ಕೆಲಸವಲ್ಲ. ಹಲವಾರು ತೊಡಕುಗಳನ್ನು ನಿವಾರಿಸಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ಯಂತ್ರ ವಿಶೇಷಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕಾಗುವುದು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದವನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸೋಣ.

(1) ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯು ಸ್ವಯಂಧಾರಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಒಂದೊಂದು ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಗ್ರಹಣದಿಂದಾಗಲಿ ಮತ್ಯಾವ ರೀತಿಯಿಂದಾಗಲಿ, ನಾಶವಾಗದಂತೆ ನೋಡಿ ಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂತಾನ ವೃದ್ಧಿ (breeding) ಯು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಯಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ತನ್ನ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಮುಗಿಸಿದ ನಂತರ, ಮತ್ತೆ ಘರ್ಷಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಹೊಂದಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿರಕೂಡದು. ಇದನ್ನು ಗುಣಕ ಸಂಖ್ಯೆ (multiplication factor) ಯೆಂದು ಕರೆದು 'K' ಸಂಕೇತವನ್ನು ಕೊಟ್ಟರೆ $K > 1$. ಇದನ್ನು ಸಾಧಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಯಂತ್ರೋಪಕರಣದಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಗಡೆ ಮಾಯವಾಗುವುದನ್ನು ತಡೆಯಬೇಕು. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಆ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಗೆ ಒಳಗಾಗದಂಥ (non-fissionable material) ವಸ್ತುವಿದ್ದು ಅದರಿಂದ ಗ್ರಹಣವಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನೂ ತಪ್ಪಿಸಬೇಕು. ಇದಕ್ಕೆ ಸಹಾಯವಾಗುವಂತೆ ವಿದಲನಹೊಂದುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪದಾರ್ಥದ ಆಕಾರ ಮತ್ತು ಗಾತ್ರವು ಆದಷ್ಟು ಸಣ್ಣದಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಒಳಗೆ ಅಡಗಿದ್ದು ಮತ್ತೆ ವೃದ್ಧಿಯಾಗುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವಂತೆಯೂ ಹೊರಗೆ ತಪ್ಪಿಸಿ ಕೊಳ್ಳಲು ಅವಕಾಶವಿಲ್ಲದಂತೆಯೂ ಇರಬೇಕು. ಇದು ಗೋಳಾಕೃತಿಯಾಗಿದ್ದರೆ ಸಹಾಯಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಯಾವ ಗಾತ್ರವು ಇದ್ದರೆ ಸೂಕ್ತವೆಂಬ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಡೆದು ಗಾತ್ರದ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ಮಿತಿ (critical size) ಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದಿದ್ದಾರೆ. ಈ ಮಿತಿಗಿಂತ ಕಡಮೆ ಗಾತ್ರದ ವಸ್ತುವು ಸ್ವಯಂ ಸ್ಫೋಟಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿರದಿರುವುದರಿಂದ ಅಪಾಯಕಾರಿಯಲ್ಲ. ಆ ಮಿತಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಸ್ತುವು ತಾನಾಗಿಯೇ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಾಗುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಯುರೇನಿಯಂ ಧಾತುವನ್ನೊಳಗೊಂಡಿರುವ ಪದಾರ್ಥ (lump) ದ ತೂಕವು 2 ಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದರೆ, ಅಪಾಯರಹಿತವಾದುದೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

2 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಕಡಮೆಯಾಗುವ ಮತ್ತೊಂದು ಸಂಭವವು ಅವುಗಳ ಗ್ರಹಣದಿಂದ ಉಂಟಾಗಬಹುದು. ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಆದಷ್ಟು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿ ತೆಗೆದುಹಾಕಿದಷ್ಟೂ, ವಿದಲನವಾಗುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸಮೃದ್ಧಿಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಅಪ್ರಯೋಜಕ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಎರಡು ಕ್ರಮಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದರಲ್ಲಿ $_{92}U^{238}$ ರಿಂದ $_{92}U^{235}$ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ಮಾರ್ಗವಿದೆ. ಇದು ಸುಲಭವಾದ ಕೆಲಸವಲ್ಲ. ಏಕೆಂದರೆ, U^{235} ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ

ಪ್ರಮಾಣವು ಸಾಧಾರಣ U^{238} ಧಾತುವಿನ $\frac{1}{140}$ ಮಾತ್ರವಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ನಮಗೆ $_{92}U^{235}$ ವಸ್ತುವಿನ 100 kg ಬೇಕಾದರೆ, ಸುಮಾರು 10,000 ಟನ್‌ಗಳಷ್ಟು ಸಾಧಾರಣ U^{238} ಧಾತುವನ್ನು ಒಳಗೊಂಡ ಪದಾರ್ಥವನ್ನು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಇದಕ್ಕೆ ಅತಿ ಪ್ರಯಾಸವೂ ಬಹಳ ಧನ ವ್ಯಯವೂ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, $_{92}U^{238}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದಿಂದ ವಿದಲನಮಾಡಿಸುವುದು ಅಷ್ಟು ಸಂಭವನೀಯವಲ್ಲ. ಅದರ ಗ್ರಹಣಮಾತ್ರ ಆಗಿ ನಿಷ್ಪ್ರಯೋಜಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲು ಫರ್ಮಿ (Fermi) ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಒಂದು ಚಮತ್ಕಾರವಾದ ವಿಧಾನವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಇದೇನೆಂದರೆ, ಸಾಮಾನ್ಯ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಆದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಗ್ರಹಣವಾಗದಂತೆ ಮಾಡಲು 'ಮಂದಕಾರಕ' (moderators) ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಮೂಲಕ ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಿಧಾನವಾಗಿ ಚಲಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಕಡಮೆ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಹಗುರ ಧಾತುಗಳನ್ನು ಮಂದಕಾರಕಗಳನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಗ್ರಾಫೈಟ್ (graphite) ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಇಂಗಾಲವೂ ಭಾರ ಜಲ (D_2O) ದಲ್ಲಿರುವ ಡ್ಯುಟೇರಿಯಂ ಕಣವೂ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿವೆ. ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಇವುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ ಆ ಪರಮಾಣುಗಳ ಘರ್ಷಣದಿಂದ ಅವುಗಳ ವೇಗವು ಸೂಕ್ತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಕಡಮೆಯಾಗಿ U^{235} ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ವಿದಲನಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಈ ವಿಧಾನದ ಮತ್ತೊಂದು ಪ್ರಯೋಜನವೇನೆಂದರೆ, $_{92}U^{238}$ ಧಾತುವಿನ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಗ್ರಹಣದಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಬಹಳ ಉಪಯುಕ್ತವಾದ $_{94}Pu^{*239}$ ವಸ್ತುವೂ ಲಭಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರ ಕ್ರಿಯೆಯು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ:

$$_{92}U^{238} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{92}{}^*U^{239} + h\nu.$$

$$_{92}{}^*U^{239} \rightarrow {}_{93}{}^*Np^{239} \text{ (ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ) } + {}_{-1}e^0 \text{ (ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್)}$$

T = 23 ನಿಮಿಷಗಳು (T = 23 ನಿಮಿಷಗಳು)

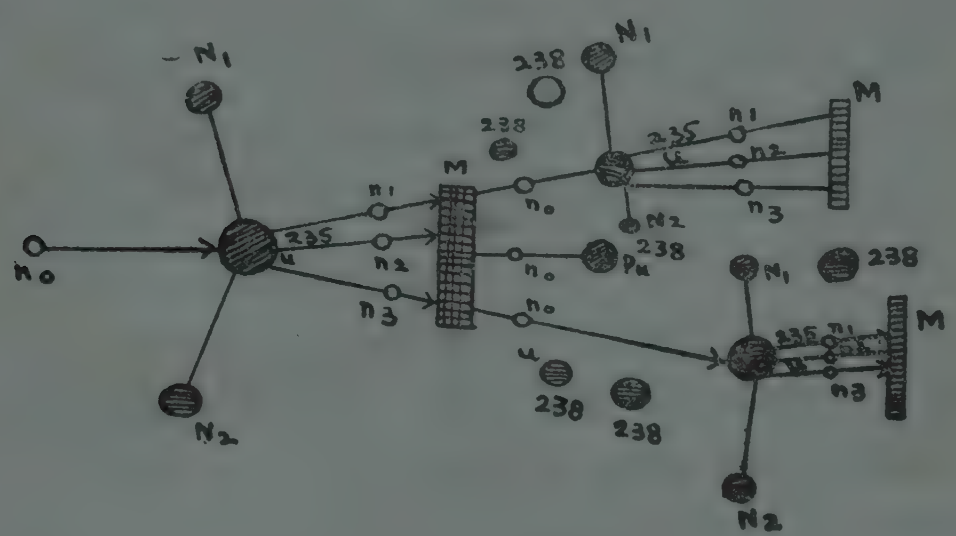
$$_{93}{}^*Np^{239} \rightarrow {}_{94}{}^*Pu^{239} + {}_{-1}e^0 \quad T = 2.3 \text{ ದಿನಗಳು}$$

(T = 2.3 ದಿನಗಳು)

$$_{94}{}^*Pu^{239} \rightarrow {}_{92}U^{235} + {}_2He^4 \quad (T = 2.5 \times 10^4 \text{ ವರ್ಷ}) \qquad (6.11)$$

ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, $_{92}U^{238}$ ಬೀಜಾಂಶವು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗ್ರಹಣದಿಂದ $_{92}U^{239}$ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಿ ಅತಿ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಇದು ಒಂದು

β–ಕಿರಣವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿ, ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಕೂಡ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ β–ಕಿರಣ ಹೊರಬೀಳುವುದರ ಮೂಲಕ $_{94}Pu^{239}$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದು α–ಕಣವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿ ಸ್ಥಿರವಾದ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವಾಗಿ ನಿಲ್ಲುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ ಧಾತುವನ್ನು ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವುದು ಸುಲಭ ಮತ್ತು ಇದನ್ನು ವೇಗವಾದ ಅಥವಾ ನಿಧಾನವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ವಿದಲನಗೊಳಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಅತ್ಯುಪಯುಕ್ತವಾದ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುವುದು ಒಂದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯ—ಈ ಎಲ್ಲ ವಿಧಾನಗಳ ಮಾದರಿಯನ್ನೂ ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಿಂದ ಕಾಣಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 6.4 ಮಂದಕಾರಕದ ಉಪಯೋಗ

ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಅಥವಾ ಭಾರ ಜಲವನ್ನು ಮಂದಕಾರಕವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರ ಫಲವಾಗಿ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಎರಡು. $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ವಿದಲನ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಂದ ವೇಗದಿಂದ ಇರಬೇಕು. ಇವುಗಳನ್ನು n_0 ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದೆ. N_1 ಮತ್ತು N_2 ಗಳು ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳು. ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು (n_1, n_2, n_3) ಉತ್ಪನ್ನವಾದರೆ ಇವುಗಳ ವೇಗ (fast) ಬಹಳ ಜಾಸ್ತಿ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು ‘M’ ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಮಂದಕಾರಕದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಇದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು (n_0) ಕಡಮೆ ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು U^{238} ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕರೆ Pu^{239} ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಮತ್ತೆರಡು (n_0) ಕಣಗಳು ಇನ್ನೆರಡು U^{235} ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ವಿದಲನಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ವಿಧಾನ ಮುಂದುವರಿಯುವುದರಿಂದ ಈ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ

ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯೂ ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಅದರ ಜೊತೆಗೆ Pu^{239} ವಸ್ತುವೂ ಲಭಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಹೀಗಾಗಿ ಈ ವಿಧಾನವೇ ಈಗ ವಿಶೇಷವಾದ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿದೆ. ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ತಯಾರುಮಾಡುವ ಪ್ರಯೋಗದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಬಹುದು.

(i) ವಿದಲನವಾಗುವ ಧಾತುವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎರಡು ಸಮಾನ ಗಾತ್ರದ ಸಾಮಗ್ರಿಗಳ ತುಂಡುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಇವುಗಳ ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಗಾತ್ರದ ಪ್ರಮಾಣವು ಆ ವಸ್ತುವಿನ ಕನಿಷ್ಠ ಗಾತ್ರದ ಅರ್ಧಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು. ಬಿಡಿ ತುಂಡುಗಳ ಗಾತ್ರವು ಕಡಮೆಯಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳು ಅಪಾಯಕಾರಿಯಲ್ಲ. ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಯಾವುದಾದರೂ ದಪ್ಪ ಪ್ರತಿಬಂಧಕವನ್ನು (ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ತೆರೆಯಂತಹುದು) ಇಟ್ಟು ಅದನ್ನು ಯಾವುದಾದರೂ ದೂರ ನಿಯಂತ್ರಣದ ತಾಂತ್ರಿಕ ಸಾಧನದಿಂದ ತೆಗೆದು ಎರಡು ತುಂಡುಗಳೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಹಾಗಾಗಿ, ಅವುಗಳೆರಡರ ಸಂಪರ್ಕದಿಂದ ಒಟ್ಟು ತೂಕವು ನಿಗದಿ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ತತ್‍ಕ್ಷಣ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಎರಡು ತುಂಡುಗಳನ್ನೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿ ಹುದುಗಿಟ್ಟಿರುವ ಪದಾರ್ಥಕ್ಕೆ ಟ್ಯಾಂಪರ್ (tamper) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಇದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಗೆ ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳದಂತೆಯೂ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯು ಸ್ವಲ್ಪ ತಡವಾಗಿ ಉದ್ಭವಿಸುವುದಕ್ಕೂ ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ.

(ii) ಆಸ್ಫೋಟನೆಯು ಆಗುವ ನಂತರ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ (10^{-6} ಸೆಕಂಡು) ಅಗಾಧಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆಯಾಗಿ ತಾಪದ ಪ್ರಮಾಣವು 10 ದಶಲಕ್ಷ ಡಿಗ್ರಿಗಳಷ್ಟು ಏರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಗಾಳಿಯ ಒತ್ತಡವು ಲಕ್ಷಾಂತರ ಮಾನಗಳಷ್ಟು ವೃದ್ಧಿಯಾಗಿ ಇದರೊಂದಿಗೆ ಒಂದು ಭೀಕರ ಸಿಡಿತವು ಹಲವಾರು ಮೈಲಿಗಳ ದೂರ ವ್ಯಾಪಿಸುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, X–ಕಿರಣಗಳೂ, ಅತಿ ನೀಲ ಕಿರಣಗಳೂ, γ–ಕಿರಣಗಳೂ ಹೊರಬಿದ್ದು ಹತ್ತಾರು ಮೈಲಿಗಳ ದೂರದಲ್ಲಿಯೂ ಕಣ್ಣು ಕುರುಡು ಮಾಡುವ ಜ್ಯೋತಿಯಂತೆ ಕಾಣುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಕೆಲವೇ ಸೆಕಂಡಿನಲ್ಲಿ ಹತ್ತಾರು ಮೈಲಿಗಳ ಸುತ್ತ ಇಡೀ ಜೀವರಾಶಿಯೇ ಭಸ್ಮೀಭೂತವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಪಾಯಕರವಾದ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯ ಕಿರಣಗಳ ನಾಶಕ ಪ್ರಭಾವವು ಕೆಲವು ವರ್ಷಗಳಾದರೂ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

ಎರಡನೆಯ ಮಹಾಯುದ್ಧದ ಅಂತ್ಯದಲ್ಲಿ 1945 ರಲ್ಲಿ ಜಪಾನಿನ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಪಟ್ಟಣಗಳಾದ ಹಿರೋಷಿಮಾ ಮತ್ತು ನಾಗಸಾಕಿಗಳು ಈ ಪರಮಾಣು

ಬಾಂಬಿನ ಭೀಕರತೆಗೆ ತುತ್ತಾಗಿ ನಿರ್ನಾಮವಾದ ರೀತಿಯನ್ನು ನೆನೆಸಿಕೊಂಡರೆ, ಇಂದಿಗೂ ರಾಕ್ಷಸ ಕೃತ್ಯದ ಅಮಾನುಷತ್ವವು ಗೋಚರವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಅತ್ಯಂತ ವಿನಾಶಕಾರಿಯೆಂದು ಎಣಿಸಲಾಗಿದ್ದ T.N.T. ಸ್ಫೋಟ ದ್ರವ್ಯದ 10,000 ಟನ್‌ಗಳ ಪ್ರಮಾಣವು ವಿನಾಶಸಾಮರ್ಥ್ಯದಲ್ಲಿ 1 ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿಗಿಂತ ಕೀಳಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನೋಡಿದರೆ, ಆ ಅನುಭವವು ಸೂರ್ಯನೇ ಭೂಲೋಕಕ್ಕೆ ಇಳಿದಂತಾಗುವ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಕೊಡುತ್ತದೆ.

6.7 ಪರಮಾಣು ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸಂಯೋಜನೆ—ಶಾಖ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳು

ಇದುವರೆಗೂ ನಾವು ವಿವರಿಸಿದ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ವಿದಲನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟವು. ಅಂದರೆ, ಯುರೇನಿಯಂನಂಥ ಒಂದು ಅತಿ ಭಾರ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಮುಂದವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಒಳಹೊಕ್ಕರೆ ಆ ಬೀಜಾಂಶವು ಎರಡು ಸುಮಾರು ಸಮಾನ ತೂಕಗಳ ಎರಡು ಭಿನ್ನ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಿದಲನ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ಆ ತುಂಡುಗಳು ಅತಿ ರಭಸದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಕೆಲವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ತಾಪದ ಮಟ್ಟವು ಸುಮಾರು 20 ದಶಲಕ್ಷ ಡಿಗ್ರಿಗಳಷ್ಟು ಏರುವುದೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ.

ಧಾತುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗೂ ಅವುಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ (ಚಿತ್ರ 6.1) ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ ನಮಗೆ ಮತ್ತೊಂದು ಬಗೆಯ ವಿಧಾನದಿಂದಲೂ, ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಮಾರ್ಗವು ಗೋಚರ ವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹಗುರವಾದ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವುದ ರಿಂದಲೂ, ಶಕ್ತಿ ವಿಸರ್ಜನೆಯ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಜಲಜನಕದ ಮೂರು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾದ ಸಾಮಾನ್ಯ ಜಲಜನಕ (${}_1H^1$), ಡ್ಯೂಟಿರಿಯಂ (${}_1D^2$), ಅಥವಾ ಟ್ರಿಟಿಯಂ (${}_1T^3$)ಗಳು ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಅನುಕೂಲವಾಗಿವೆ. ಈ ಸಂಯೋಜನೆಯ ತತ್ತ್ವವೇನೆಂದರೆ, ಈ ಹಗುರ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಸಂಯೋಜನೆ ಮಾಡಿಸಿದರೆ, ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುವಿನ ತೂಕವು ಮೂಲ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ತೂಕಗಳ ಮೊತ್ತಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದು ಇವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ.

4 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿದರೆ ಅವುಗಳ ಮೊತ್ತ ತೂಕ = 4.0325 a.m.u.

ಒಂದು ($_2He^4$) ಹೀಲಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕ = 4.00386 a.m.u.

ಅಂದರೆ, ಈ 4 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿ ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವಂತಾದರೆ, ನಮಗೆ ಲಭಿಸುವ ಶಕ್ತಿಯು 0.0286 a.m.u. ವಸ್ತುವಿನ ನಾಶಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ

$$0.0286 \times 931 = 26.7 \text{ MeV}$$

ಆಗುತ್ತದೆ. ಒಂದೇ ಒಂದು ನಿಬಂಧನೆಯು ಮಾತ್ರ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವೂ ಕಷ್ಟವೂ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಹಗುರ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಸಂಯೋಜನೆಯಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ಆವರಣ ತಾಪದ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 20 ದಶಲಕ್ಷ ಡಿಗ್ರಿಗಳಷ್ಟು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ನಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಇಷ್ಟು ಅಪಾರವಾದ ಶಾಖದ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಒದಗಿಸುವುದು ಕಷ್ಟವಾಗಿ ತೋರಿದರೂ, ಸೂರ್ಯನ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ ಈ ತಾಪದ ಮಟ್ಟದ ದೆಸೆಯಿಂದ ಅಲ್ಲಿ ನಾವು ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಯು ಧಾರಾಳವಾಗಿಯೂ ಸರಾಗವಾಗಿಯೂ ಸಾಗುತ್ತಿದೆಯೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ. ಒಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನೋಡಿದರೆ, ಸೂರ್ಯನಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಗೆ ಕಾರಣವೇ ಈ ವಿಧವಾದ ಶಾಖ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳ (thermo-nuclear reactions) ವಿಧಾನವೆಂದು ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

ಸೂರ್ಯನಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಸಬಹುದಾದ ವಿಧಾನಗಳಿಗೆ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನವಾಗಿವೆ. ಸೂರ್ಯನಲ್ಲಿ ನಿರಂತರವಾಗಿ ಸಾಗುತ್ತಿರುವ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಗಾಲ ($_6C^{12}$) ಮತ್ತು ಸಾರಜನಕ ($_7N^{14}$) ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಸಹಾಯಕ ವಸ್ತುಗಳಾಗಿ (catalysts) ವರ್ತಿಸುವುವೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಒಂದು (C—N) ಆವರ್ತದಲ್ಲಿ ಹಂತ ಹಂತವಾಗಿ ನಡೆಯುವುದರ ಮೂಲಕ 4 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಂದ ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಸುಮಾರು 27 MeV ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ತಾಪದ ಮಟ್ಟವು ಅಲ್ಲಿ ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಒಂದು ಆವರ್ತವು ಮುಗಿದ ಮೇಲೆ, ಇವುಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾದ $_6C^{12}$ ಮತ್ತು $_7N^{14}$ ಬೀಜಾಂಶಗಳು ತಮ್ಮ ಪೂರ್ವರಚನೆಗೆ ಬಂದುಬಿಡುತ್ತವೆ. ಮತ್ತೊಂದು ವಿಧಾನದಲ್ಲಿಯೂ ಕೂಡ, ಪ್ರೋಟಾನ್-ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಯೋಜನೆಯಿಂದ ಶಕ್ತಿಯು ವಿಸರ್ಜನೆಹೊಂದುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಎರಡು ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಸೂರ್ಯನ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ಇದೇ ವಿಧಾನಗಳನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ, ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಸಂಯೋಜನೆಯ (fusion) ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಇದರಲ್ಲಿ ಮೂರು ಮಾರ್ಗಗಳಿದ್ದು ಅವುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಲಾಗಿದೆ.

$$_1D^2 + {}_1D^2 \rightarrow {}_2He^3 + {}_0n^1 + 3.2 \text{ MeV}$$

$$_1D^2 + {}_1D^2 \rightarrow {}_1T^3 + {}_1H^1 + 4.0 \text{ MeV} \qquad (6.12)$$

(ಇಲ್ಲಿ $_1D^2$ = ಡ್ಯೂಟಿರಿಯಂ, $_1T^3$ = ಟ್ರಿಟಿಯಂ : ಜಲಜನಕದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು.)

$$_1T^3 + {}_1D^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1 + 17.6 \text{ MeV}$$

ಈ ಮೂರನೆಯ ವಿಧಾನವು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತದೆ.

ಇನ್ನೂ ಇವುಗಳಿಗೆ ಬೇಕಾದ ಶಾಖದ ಆವರಣವನ್ನು ಒದಗಿಸುವುದಕ್ಕೆ ಎರಡು ಮಾರ್ಗಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದರಲ್ಲಿ ಒಂದು "ಪ್ರಾಥಮಿಕ" (primary) ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸುಮಾರು 20 ದಶಲಕ್ಷ ಡಿಗ್ರಿಗಳ ತಾಪವನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದು. ಹೀಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ "ಜಲಜನಕದ ಬಾಂಬನ್ನು" (hydrogen-bomb) ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಜಲಜನಕದ ಬಾಂಬಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಯೋಜನೆಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿಗಿಂತ ಸಾವಿರ ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು ಲಭಿಸುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿಗೆ ಇರಬೇಕಾದ ಕನಿಷ್ಠ ಗಾತ್ರದ ಪ್ರಶ್ನೆಯು ಇದರಲ್ಲಿರುವುದಿಲ್ಲ. ವಿನಾಶಕಾರಕ ಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಇದು ಹೆಚ್ಚು ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. 1952 ರಲ್ಲಿ ಅಮೆರಿಕ ದೇಶದಲ್ಲಿ ತಯಾರು ಮಾಡಿದ ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲನೆಯ 'H' ಬಾಂಬಿಗೆ ಮೈಕ್ (Mike) ಎಂದು ಹೆಸರಿಟ್ಟು, ಅದರ ಆಸ್ಫೋಟನ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 30 ಲಕ್ಷ ಟನ್‌ಗಳ T.N.T. ಯಷ್ಟು ಇದ್ದಿತೆಂದು ಹೇಳಲಾಗಿದೆ.

ಈ ಆಸ್ಫೋಟಕ ಜಲಜನಕ ಬಾಂಬನ್ನು ಒಂದು ವಿಶೇಷ ಲೋಹದ ಆವರಣದಲ್ಲಿಟ್ಟರೆ, ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ವಿನಾಶಕಾರಕ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಉಂಟಾಗಿ ಅತಿ ದೀರ್ಘ ಕಾಲದವರೆಗೂ ವ್ಯಾಪಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಕೋಬಾಲ್ಟ್ ಲೋಹದ ಹೊದಿಕೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು

ಈ ಕೋಬಾಲ್ಟ್ ವಸ್ತುವನ್ನು ಹೊಕ್ಕು ಅದನ್ನು Co^{60} ಯನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿ ಅದರ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೊರಡುವ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ರೇಡಿಯಂಗಿಂತ ಸುಮಾರು 300 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು ಅತ್ಯಂತ ಅಪಾಯಕಾರಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಕಿರಣ ಧೂಮ (radio-active cloud) ವು ಸಾವಿರಾರು ಮೈಲಿಗಳ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಮಾರಕ ವಾಯುಗಳನ್ನು ಪ್ರಸರಿಸಿ ಮೃತ್ಯುವನ್ನು ಹರಡುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ ಈ ವಿಷವಸ್ತುವಿಗೆ "ನರಕ ಬಾಂಬು" (hell-bomb) ಎಂದೂ ಹೆಸರಾಗಿದೆ.

6.8 ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಶಾಂತಿಯುತ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಬಳಸುವಿಕೆ

ದುರ್ದೈವದಿಂದ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿದಲನ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪಾದನೆಮಾಡುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದಕ್ಕೂ ಎರಡನೆಯ ಮಹಾಯುದ್ಧವು ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ಘಟ್ಟವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವುದಕ್ಕೂ ಒಂದೇ ಸಮಯವು ಪ್ರಾಪ್ತವಾಯಿತು. ಶತ್ರುಗಳನ್ನು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಾದರೂ ಸೋಲಿಸಬೇಕೆಂದು ಪಣ ತೊಟ್ಟಿದ್ದ ಪ್ರಬಲ ರಾಷ್ಟ್ರವಾದ ಅಮೆರಿಕ ದೇಶವು ತನ್ನ ಅಪಾರವಾದ ಧನಸಮುದಾಯವನ್ನು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ದೊರಕುವಂತೆ ಮಾಡಿ ಅವರ ಸಹಾಯದಿಂದಲೂ, ತಾಂತ್ರಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರ ಸಹಾಯದಿಂದಲೂ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬುಗಳನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡಿತು. ಆ ರಾಷ್ಟ್ರವು 1945 ರಲ್ಲಿ ಜಪಾನಿನ ಎರಡು ದೊಡ್ಡ ಪಟ್ಟಣಗಳಾದ ಹಿರೋಷಿಮಾ ಮತ್ತು ನಾಗಸಾಕಿಗಳ ಮೇಲೆ ಇವುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿ ಅವುಗಳಲ್ಲಿದ್ದ ಲಕ್ಷಾಂತರ ಜನಗಳನ್ನೂ ಅಪಾರವಾದ ಸಂಪತ್ತನ್ನೂ ನಿರ್ಮೂಲ ಮಾಡಿತು. ಒಂದು ವಿಧದಲ್ಲಿ ಈ ಕೃತ್ಯವು ಅಮಾನುಷವಾದರೂ, ಯುದ್ಧವು ಕೊನೆಗಾಣುವುದಕ್ಕೆ ಅದು ಕಾರಣವಾಯಿತೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಅಲ್ಲಿನಿಂದ ಈಚೆಗೆ, ನೂರಾರು ಬಾಂಬುಗಳು ತಯಾರಾಗಿ ಶೇಖರವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅಂಥ ಯಾವ ಅಮಾನುಷೀ ಕೃತ್ಯವೂ ಇದುವರೆಗೂ ನಡೆದಿಲ್ಲ. ಇಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಪ್ರಬಲ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳಲ್ಲೂ ಈ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಮನುಷ್ಯನ ಕಲ್ಯಾಣಕ್ಕೂ ಶಾಂತಿಯುತವಾದ ಮಾರ್ಗಗಳ ಬಳಕೆಗೂ ಸಾಧ್ಯವಾಗುವಂತೆ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ. ಇದು ಒಂದು ಸಂತೋಷಕರವಾದ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಈ ಮಾರ್ಗವು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತಿದೆ. ಸನ್ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ತಿರುಗಿಸುವ ಈ ವಿಧಾನಗಳಿಗೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಕ (reactors) ಗಳೆಂದು ಹೆಸರು. ಇವುಗಳನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗುವುದು.

ಅಧ್ಯಾಯ 7

ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು

7.1 ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಬೀಜಾಂಶದ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳನ್ನೂ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸರಪಳಿ ವಿಧಾನದಿಂದ ಶಕ್ತಿಯು ಬಹುಗುಣವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನೂ ತಿಳಿಸಿದೆ. ಈಗ ಈ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನಾವು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮಾರ್ಗಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದು ವಿನಾಶಕಾರಕ ಮಾರ್ಗ. ಇದೇ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ಇದರಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಅನಿಯಂತ್ರಿತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಮಾಡಿಸುವುದು. ಹೀಗೆ ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸದಂತೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒಂದು ವಿಧವಾಗಿ ನಿಯಂತ್ರಣಮಾಡಿ ಅದನ್ನು ನಮಗೆ ಬೇಕಾಗುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವಿನಿಮಯ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳುವ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (nuclear reactor) ಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಹೀಗೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಅಪಾರವಾದ ಪ್ರಯೋಜನಗಳು ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ. ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಉಪಯೋಗವೆಂದರೆ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪತ್ತಿ. ಎರಡನೆಯ ಅತಿ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಫಲಗಳನ್ನು ಕೊಡುವ "ರೇಡಿಯೋ ಐಸೋಟೋಪು" (radio-isotopes) ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡುವುದು. ಈ ಎರಡು ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಎಲ್ಲ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳೂ ಈಗಾಗಲೇ ಅತಿಶಯವಾದ ಪ್ರಗತಿಯನ್ನು ಸಾಧಿಸಿ, ನೂರಾರು ಉಪಯುಕ್ತ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ನಾಗರಿಕತೆಯ ಮುನ್ನಡೆಗೂ ಮಾನವನ ಸುಖ ಸಂಪತ್ತುಗಳಿಗೂ ಅವಕಾಶವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿವೆ.

7.2 ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿ ಅವುಗಳ ಉಪಯೋಗಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ವೈವಿಧ್ಯವಿದ್ದರೂ, ಇವುಗಳಿಗೆಲ್ಲ ಹೊಂದಿಕೊಳ್ಳುವ ಕೆಲವು ಪ್ರಧಾನ ಅಂಶಗಳಿರುತ್ತವೆ.

ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಯಂತ್ರಗಳಲ್ಲಿಯೂ ತಿರುಳು ರೂಪ (core) ದಲ್ಲಿರುವ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿರಬೇಕು. ಇದರ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದಲೇ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯು ಸ್ವಯಂಧಾರಕ (self-sustaining) ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಏರ್ಪಡಬೇಕು. ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಬಹು ಭಾಗವು ಶಾಖದ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇರುವುದು.

ತಿರುಳು ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ಇಂಧನವು (reactor fuel) ಇದ್ದು ಅದರೊಂದಿಗೆ ಒಂದು ಮಂದಕಾರಕ ಸಾಮಗ್ರಿ (moderator) ಯೂ ಇರಬೇಕು. ಈ ಎರಡು ಅಂಗಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸುತ್ತವೆ. ತಿರುಳು ಭಾಗದ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಪ್ರತಿಫಲಕ (reflector) ವೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಅಂಗಗಳ ಜೊತೆಗೆ, ಶಾಖವನ್ನು ಒಯ್ಯಲು ಶೀತಕ ವಸ್ತುಗಳೂ ಇರಬೇಕು.

ಇನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಣದ ವಿಧಾನ (control) ಯಾವ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಸ್ತಿಮಿತ ಪಡಿಸಬೇಕೋ ಅದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಸೂಕ್ತ ರೀತಿ ಮತ್ತು ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳಲೂ (leak) ಅಥವಾ ಸೂಕ್ತವಾದ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಗ್ರಹಣವಾಗಲೂ (absorber) ಅವಕಾಶವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕು.

ವಿದಲನದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಾಖವನ್ನು ಶೀಘ್ರವಾಗಿ ಹೊರಗೆ ಎಳೆಯುತ್ತಿರುವುದರ ಮೂಲಕ ತಾಪದ ವಿನಿಮಯವು ಏಕರೀತಿಯಲ್ಲಿರುವಂತೆ ನೋಡಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡಬೇಕೆಂದಿದ್ದರೆ, ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾದ ಶಾಖವನ್ನು ಶೀತಕ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಒಂದು ಸೂಕ್ತ ದ್ರವಕ್ಕೆ ವರ್ಗಾಯಿಸಿ ಅದರಿಂದ ನೀರಿನ ಆವಿಯನ್ನೋ ತಪ್ತ ಅನಿಲ (steam or hot gas) ವನ್ನೋ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಬೇಕು. ಅಲ್ಲಿಂದ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಈ ಆವಿ ಅಥವಾ ಅನಿಲದಿಂದ ಟರ್ಬೈನ್ (turbine) ಸಹಾಯದಿಂದ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವಿವಿಧ ಅಂಗಗಳ ರಚನೆಯು ಯಂತ್ರದ ಉಪಯೋಗವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳನ್ನು ಮೂರು ಗುಂಪುಗಳನ್ನಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು (i) ತಾಪಕ (thermal), (ii) ವೇಗಯುತ (fast), ಮತ್ತು (iii) ಮಾಧ್ಯಮಿಕ (intermediate) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಮಾಡಿಸತಕ್ಕ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ಇರುತ್ತವೆ. ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಫಲಕಾರಿಯಾಗಲು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿ ತಾಪದ ಮಟ್ಟ (1 ಸೆಕಂಡಿಗೆ

ಸುಮಾರು 1 ಮೈಲಿಯ ವೇಗ) ದಲ್ಲಿರುವ ವೇಗಗಳಿಗೆ ಸಮವಾಗಿರಬೇಕು. ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಅತಿ ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಮಂದಕಾರಕ ಸಾಮಗ್ರಿಯ ಮೂಲಕ ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಮಂದ ಗೊಳಿಸಿದರೆ ಮತ್ತೆ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯು ಸಾಗಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ, ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಮತ್ತು ನೀರು ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತುಗಳನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಸಹಾಯಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ $_{92}U^{235}$ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ಸಮೃದ್ಧಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಇಂಧನವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು.

ಅತಿ ವೇಗವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಇಂಧನದಲ್ಲಿ ವಿದಲನ ಹೊಂದತಕ್ಕ $_{92}U^{233}$, $_{92}U^{235}$, $_{94}Pu^{239}$ವಸ್ತುಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಇಂಧನದಲ್ಲಿರಬೇಕು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತುವಿನ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ $_{94}Pu^{239}$ ಇಂಧನವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಪಡೆದಿವೆ. ಈ ವೇಗಯುತ ಯಂತ್ರಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಗುಣಕಸಂಖ್ಯೆ (multiplication factor) ಯನ್ನು ಒಂದು ನಿಯಂತ್ರಿತ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಹತೋಟಿಯಲ್ಲಿಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

ಮಾಧ್ಯಮಿಕ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳು ಅತಿ ಕಡಮೆಯಾಗಿಯೂ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿಯೂ ಇಲ್ಲದೆ ಇರುವುದರಿಂದ, ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮಂದಕಾರಕ (moderators) ಗಳ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿರುತ್ತದೆ.

ಇಂಧನವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಸೂಕ್ತವಾಗಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ $_{92}U^{233}$, $_{92}U^{235}$, $_{94}Pu^{239}$. ಇವುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳು ಎಲ್ಲ ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿರಲೂ ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. UO_2 ವಸ್ತುವನ್ನು ಇಂಧನದ ಸಾಮಗ್ರಿಯನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವಾಗ, ಅದನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ಬದಲಾವಣೆಗಳಿಂದ ಕಾಪಾಡಲು ಬೇರೊಂದು ಲೋಹದ ಹೊದಿಕೆಯೊಳಗೆ ಇಡಬೇಕು. ಇಂಧನವನ್ನು ದ್ರವದ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೂ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.

ಘನರೂಪದ ಇಂಧನವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯ ಸರಳುಗಳ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲಿನ ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಇಡಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಇತ್ತೀಚಿನ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಹಲಗೆ (plate) ಗಳ ರೂಪಗಳನ್ನು ಒಂದು ಕ್ರಮಬದ್ಧವಾದ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಗ್ರಾಫೈಟ್ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಇಂಗಾಲವನ್ನು ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಭಾರ ಜಲವು ಅತ್ಯಂತ ಸೂಕ್ತವಾದ ವಸ್ತುವಾದರೂ, ಅದನ್ನು ತಯಾರುಮಾಡುವ ವೆಚ್ಚವು ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದರಿಂದ ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಅದು

ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿಲ್ಲ. ಬೆರಿಲಿಯಂ ಮತ್ತು ಅದರ ಆಕ್ಸೈಡನ್ನು ಕೂಡ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಮಂದಕಾರಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕಗಳನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ.

ಶೀತಕ ವಸ್ತು (coolants) ಗಳಲ್ಲಿ ನಾಲ್ಕು ವಿಧಗಳಿವೆ.

(a) ಸಾಮಾನ್ಯ ಅಥವಾ ಭಾರ ಜಲ, (b) ದ್ರವರೂಪದ ಲೋಹಗಳು, (c) ಜೈವಿಕ ದ್ರವಗಳು (organic liquids) ಮತ್ತು (d) ಅನಿಲಗಳು. ಒಂದೊಂದು ಮಾದರಿಗೂ ಸೂಕ್ತವಾದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಆರಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಶಾಖವನ್ನು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ತೆಗೆದು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕೆಂಬುದನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

7.3 ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಕೆಲವು ಮಾದರಿಗಳು (Reactor types)

ವಿದಲನ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯಾವಿಧಾನದಿಂದ ಒಂದು ಸ್ವಯಂಧಾರಕ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು, 1942 ರ ಅಂತ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಚಿಕಾಗೋ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿತವಾಯಿತು.

ಶುದ್ಧವಾದ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ನಿರ್ಮಿತವಾದ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಕಟ್ಟಡದೊಳಗೆ ನಿಯಮಿತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಗಟ್ಟಿಗಳನ್ನು ಹುದುಗಿಡಲಾಗಿತ್ತು. ಇಡೀ ಕಟ್ಟಡವು ಒಂದು ಅಂಡಾಕೃತಿ (spheroid) ಯಂತಿದ್ದು ಇದರಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳನ್ನು ವರಿಸೆ ವರಿಸೆಯಾಗಿ (layers of bricks) ಪೇರಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಈ ರಚನೆಯಿಂದಲೇ ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಸಂಗ್ರಹ ಅಥವಾ ರಾಶಿ (pile) ಎಂದು ಹೆಸರಿದೆ. ಈ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳ ನಡುವೆ ಪರ್ಯಾಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಗಟ್ಟಿಗಳು ಅಡಕವಾಗಿದ್ದುವು. ಇವುಗಳು ಯುರೇನಿಯಂ ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ ಆಕ್ಸೈಡ್‌ಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿದ್ದುವು. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಈ ಕಟ್ಟಡದೊಳಗೆ ಅಲ್ಲಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ನಿಯಮಿತ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳನ್ನು ಕೂರಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗದೆ ಒಂದು ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಮೀರದಂತೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಣ ಮಾಡುವುದು ಇದರ ಮೂಲಕ ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಒಟ್ಟು ಯುರೇನಿಯಂ ತೂಕ 40 ಟನ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ಗ್ರಾಫೈಟ್‌ನ ತೂಕ 385 ಟನ್‌ಗಳಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ಸಲಕರಣೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ನಿರಂತರವಾಗಿ 2 kW ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಇದನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡಲು ಉಪಯೋಗಿಸಲಾದ ಯುರೇನಿಯಂ U^{235} ವಸ್ತುವಿನ ಜಡಾಂಶ ಸುಮಾರು .002 ಗ್ರಾಂ—ಒಂದು ದಿವಸಕ್ಕೆ.

P ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪಾದನೆಯ ದರವಾದರೆ,

$$P = 2.5 \times 10^{-8} \text{ w. n. v (watts)} \quad (7.1)$$

ಎಂಬ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಅದನ್ನು ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಇದರಲ್ಲಿ w = U^{235} ವಸ್ತುವಿನ ತೂಕ(ಪೌಂಡುಗಳು). nv=ಸರಾಸರಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಹರಿವಿನ ದರ (average neutron flux).

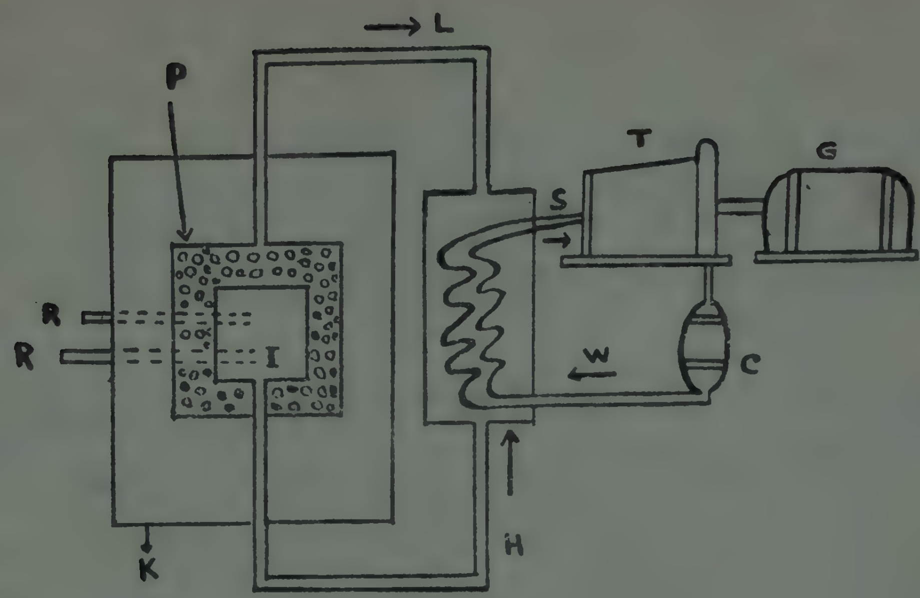
ಇದಾದಮೇಲೆ, 1943 ರಲ್ಲಿ ಓಕ್‌ರಿಡ್ಜ್ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ನಿರ್ಮಿತ ವಾಯಿತು. ಇದರ ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪಾದನೆಯ ದರವು ಮೊದಲು 800 kW ಆಗಿದ್ದು ಕ್ರಮೇಣ 400 kW ವರೆಗೆ ಏರಿತು. ನಂತರ 1944–45ರಲ್ಲಿ ಹ್ಯಾನ್‌ಫರ್ಡ್‌ನಲ್ಲಿ ಬೃಹದಾರದ ಹಲವಾರು ಯಂತ್ರೋಪಕರಣಗಳು ನಿರ್ಮಿತವಾದವು. ಈಗಲಂತೂ, ಇಂಗ್ಲೆಂಡ್, ರಷ್ಯ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಯಂತ್ರಗಳು ಸರ್ವೇ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಉಪಯೋಗದಲ್ಲಿದ್ದು ನಮ್ಮ ದೇಶದಲ್ಲಿಯೂ ಇವು ವ್ಯಾಪಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತಿವೆ. ಇವುಗಳ ವಿಷಯವನ್ನು ಮುಂದೆ ವಿವರಿಸ ಲಾಗುವುದು.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಒಂದು ಉಪಯೋಗವೆಂದರೆ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡುವುದು. ಇವುಗಳ ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

(a) ಶಕ್ತಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು (Power reactors)

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಅಪಾರ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಇದನ್ನು ವಹನಮಾಡಲು ಸೂಕ್ತವಾದ ಶೀತಕ (coolant) ವಸ್ತುವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಅದರ ಮೂಲಕ ಸಂಪರ್ಕವಿರುವ ಶಾಖ ವಿನಿಮಯಕ (heat exchanger) ದಿಂದ ನೀರಿನ ಆವಿಯ ರೂಪಕ್ಕೆ ತಂದು ಅದನ್ನು ವಿದ್ಯುಜ್ಜನಕ ಯಂತ್ರಗಳಿಗೆ ಅಳವಡಿಸಬೇಕು.

ಒಂದು ಸಾಮಾನ್ಯ ಮಾದರಿಯ ವಿವರಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರ (7.1) ದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 7.1 ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆಮಾಡುವ ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ

ಸಾಮಾನ್ಯ ಯಂತ್ರದ ಎಲ್ಲ ಅಂಗಗಳೂ ಈ ಚಿತ್ರದ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ.

ಇಂಧನ : ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಭಾಗವು ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ I ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಯಂತ್ರದ ತಿರುಳು (core). ಇದರಲ್ಲಿಯೇ ಇಂಧನವೂ ಮಂದಕಾರಕವೂ ಹುದುಗಿರುತ್ತವೆ. ಇದು ಘನವಸ್ತುವಾಗಿದ್ದರೆ, ಮೇಲೆ ವಿವರಿಸಿರುವಂತೆ ಇದೊಂದು ಜಾಲಕ (lattice) ರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದು ದೊಡ್ಡ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಕಟ್ಟಡದೊಳಗೆ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ಒಳಗೊಂಡ ಗಟ್ಟಿಗಳು ಪರ್ಯಾಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳ ನಡುವೆ ರಚಿತವಾಗಿವೆ. ಇದೇ ಕಟ್ಟಡದೊಳಗೆ R ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ನಿಯಂತ್ರಣ ಸರಳುಗಳು ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳಾಗಿರಬಹುದು. ಕೆಲವು ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಧನವು ದ್ರವರೂಪದಲ್ಲಿರಬಹುದು. ಬೆರಿಲಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ಕೂಡ ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.

ಪ್ರತಿಫಲಕ (P) : ಇಂಧನವನ್ನು ಹೊತ್ತಿರುವ ಒಳಗಿನ ಭಾಗದ ಸುತ್ತಲೂ ಆವರಿಸಿರುವ ಭಾಗ. ಇದರ ರಚನೆಯು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣದ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ.

(K) ರಕ್ಷಾಕವಚ (shield) : ಇದು ಒಂದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಭಾಗ. ಕೆಲಸ ಮಾಡುವವರನ್ನು ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅಪಾಯಕರವಾದ ವಿಕಿರಣದ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗದಂತೆ ಕಾಪಾಡುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಎರಡು ವರಸೆಗಳಿರಬಹುದು. ಒಳಗಿನದು ಹಲವಾರು ಅಡಿಗಳ ದಪ್ಪದ ಕಾಂಕ್ರೀಟ್ ಗೋಡೆ; ಇದನ್ನು ಆವರಿಸಿ ಹೊರಗೆ ವಿಶೇಷತರಹದ (ಬೆರೈಟಿಸ್) ದಟ್ಟವಾದ ಗೋಡೆ.

L-L : ಒಳಗಡೆ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಾಖವನ್ನು ಹೊರಗೆ ಎಳೆಯಲು ಇಂಧನ ಭವನದಿಂದ ಹೊರಗೆ ಸಂಪರ್ಕವಾಗುವ L-L ಎಂಬ ಶೀತಕದ ಕಾಲುವೆ (coolant). ಇದರ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಹಲವಾರು ಭೇದ ಗಳಿರುತ್ತವೆ. ವಿಶೇಷ ಒತ್ತಡಕ್ಕೆ ಒಳಪಟ್ಟ ನೀರಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ, ದ್ರವರೂಪದ ಸೋಡಿಯಂ ಆಗಿಯೇ, CO_2 ನಂಥ ಅನಿಲರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇರಬಹುದು.

ಶಾಖ ವಿನಿಮಯಕ (H) : ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದಂತೆ ಶಾಖವನ್ನು ಒಯ್ಯುವ ಶೀತಕ ವಸ್ತುವು ಈ ಸಲಕರಣೆ (heat exchanger) ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ ಅದರೊಳಗೆ ನಾಳಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರವಹಿಸುತ್ತಿರುವ ಒತ್ತಡದ ನೀರು ಆವಿ ರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದೊಂದು ಕುದಿಪಾತ್ರೆ (boiler) ಯಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ನೀರು ಸಾಂದ್ರಕ (condenser) C ಯಿಂದ W ನಾಳಿಕೆಯ ಮೂಲಕ ಒಯ್ಯಲ್ಪಟ್ಟು ಆವಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ S ನಾಳಿಕೆಯ ಮೂಲಕ T ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಟರ್ಬೈನಿಗೆ ಹೋಗಿ, ಅಲ್ಲಿಂದ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಚಾಲಕ ಯಂತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ G ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ವಿದ್ಯುಜ್ಜನಕ ಯಂತ್ರದಿಂದ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದು ಶಾಖ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ (thermal reactor) ರಚನೆಯನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ.

ಕ್ರಿಯೆಯ ವೇಗವನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಣ ಮಾಡಲು ಸಹಕಾರಿಯಾಗುವುದು ನಿಯಂತ್ರಣ ಸರಳುಗಳು. ಇದು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಿದ್ದೇವೆ. ನಿಯಂತ್ರಣವನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಲು ಗುಣಕ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು (multiplication) ಗೊತ್ತುಮಾಡಿ ಒಂದು ನಿಯತ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಇಟ್ಟಿರಬೇಕು. ಇದನ್ನು K ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ

$$K = \frac{\text{ಯಾವ ಹಂತದಲ್ಲಿಯಾದರೂ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ}}{\text{ಅದಕ್ಕೆ ಹಿಂದಿನ ಹಂತದಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ}} \tag{7.2}$$

ಇದು 1 ಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾದರೆ, ಕ್ರಿಯೆಯು ಒಂದು ಅಪಸರಣ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ (divegent) ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತ ಹತೋಟಿ ತಪ್ಪುವ ಸಂಭವವಿರುವುದರಿಂದ ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪನ್ನ ಪ್ರಮಾಣವು ನಿಯತವಾಗಿರಲು, ಈ ಸರಳುಗಳನ್ನು ದೂರ ನಿಯಂತ್ರಣ ಸಲಕರಣೆಗಳಿಂದ ಸ್ವಯಂಚಾಲಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಒಳಗೆ ನೂಕಲೂ, ಹೊರಗೆ ಎಳೆಯಲೂ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ವಿಧಾನಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನಿಲ್ಲಿಸಲೂ, ಅಥವಾ

ವಿಶೇಷ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗಳಲ್ಲಿ ತಡೆಯಲೂ ಸಾಧಕವಾಗುವಂತೆ ಪ್ರತಿಬಂಧಕ ಸರಳುಗಳನ್ನೂ (shutdown rods) ಇಟ್ಟಿರುವುದುಂಟು.

(b) ವೇಗ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು—ಸಂತಾನ ವರ್ಧಕಗಳು (Fast reactors – Breeders)

ಈಗಾಗಲೇ ಸೂಚಿಸಿರುವಂತೆ $_{92}U^{235}$ ಬೀಜಾಂಶದ ವಿದಲನಕ್ಕೆ ಮಂದವೇಗದ (ತಾಪಕ ವೇಗ) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಘರ್ಷಣೆಯಾಗಬೇಕು. ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಮತ್ತೆ ಸರಪಳಿಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ U^{235} ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಫಲಕಾರಿಯಾಗಿ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವಂತೆ, ಮಂದಕಾರಕಗಳ ಮೂಲಕ ವೇಗವನ್ನು ಕಡಮೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಆದರೆ, $_{92}U^{238}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಕಡಮೆ ವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಒಳಹೊಕ್ಕರೆ ಅದು ಅಲ್ಲಿ ಲೀನವಾಗುತ್ತದೆ. ಸ್ವಲ್ಪ ಕಾಲದ ನಂತರ ಕೆಲವು ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಂಭವಿಸಿದ ಮೇಲೆ $_{94}Pu^{239}$ ಎಂಬ ಅತಿ ಮುಖ್ಯ ವಸ್ತುವು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಎಲ್ಲ ವೇಗಗಳ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಘರ್ಷಣೆಮಾಡಿ ವಿದಲನಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಇದೊಂದು ಅಪ್ರತ್ಯಕ್ಷ ಮಾರ್ಗವಾಯಿತು. ಇದರಲ್ಲಿ $_{92}U^{238}$ ಬೀಜಾಂಶವು ಫಲವತ್ತಾದ ಧಾತು (fertile) ವೆಂದೂ $_{94}Pu^{239}$ ಧಾತುವು ವಿದಲನಯೋಗ್ಯ ವಸ್ತು (fissile) ವೆಂದೂ ಹೆಸರು ಪಡೆದಿವೆ. ಈ ವಿಧಾನಕ್ಕೆ ಸಂತಾನ ವರ್ಧಕ (breeding) ವೆಂದು ಹೆಸರು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಥೋರಿಯಂ $_{90}Th^{232}$ ಬೀಜಾಂಶದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಮೂಲಧಾತುವನ್ನಾಗಿ (ಫಲವತ್ತಾಗಿ) ಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅದರೊಡನೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯ ಮೂಲಕ $_{92}U^{233}$ ವಸ್ತುವನ್ನು ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಪಡೆಯಬಹುದು. ಇದೂ $_{92}U^{235}$ ನಂತೆಯೇ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಹಾಯಕವಾಗುತ್ತದೆ.

$$_{90}Th^{232} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{90}Th^{233} \xrightarrow{\beta} {}_{91}Pa^{233} \xrightarrow{\beta} {}_{92}U^{233} \qquad (7.3)$$

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಸ್ವಲ್ಪ ದಿನ ಕಾಲಗಳಲ್ಲಿ Th ನಿಂದ ಹಿಡಿದು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯ $_{92}U^{233}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತದೆ. ಇದೂ ಕೂಡ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (ಮಂದಗತಿ) ಕಣಗಳಿಂದ ವಿದಲನ ಹೊಂದುತ್ತದೆ.

ಕೆಲವು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಧಾನಗಳೂ ಉಪಯೋಗವಾಗಲು ಅವಕಾಶವಿದ್ದು ಅವುಗಳನ್ನು ವೇಗಯುತ ಸಂತಾನ ವರ್ಧಕ (fast

breeders) ಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುವ ಹಾಗೆ ಮಾಡಬಹುದು. ವೇಗಯುತವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ನೇರಾದ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಜೊತೆಗೆ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ ($_{94}Pu^{239}$) ವಸ್ತುವನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವಿದ್ದು ಅದನ್ನು U^{238} ನಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ವೇಗ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಇಂಧನವು ತನ್ನ ಬಹು ಭಾಗದಲ್ಲಿ U^{235} ಅಥವಾ Pu^{239} ವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಮಂದ ಕಾರಕಗಳ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿರುವುದಿಲ್ಲ. ದ್ರವೀಕೃತ ಸೋಡಿಯಂ ಶೀತಕ ವಸ್ತುವಾಗಿರಲು ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಹೀಗೆ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾದ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಹಲವಾರು ಬಗೆಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದಲ್ಲದೆ ಜಲಾಂತರ್ಗಾಮಿಗಳನ್ನು (submarines) ಚಾಲಕ ಮಾಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಉಪಕರಣಗಳ ಗಾತ್ರಗಳು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರ ಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ ವಿಮಾನ ಸಂಚಾರಕ್ಕೂ ಮೋಟಾರ್ ವಾಹನಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಅಳವಡಿಸಲು ಕಷ್ಟವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಶಕ್ತಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅಂಗಗಳ ಭೇದಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿದೆ.

ಇಂಧನ (Fuel)	ಮಂದಕಾರಕ (Moderator)	ಶೀತಕ (Coolant)	ಶಾಖವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ವಿಧಾನ
ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಯುರೇನಿಯಂ	ಭಾರ ಜಲ, ಬೆರಿಲಿಯಂ, ಗ್ರಾಫೈಟ್	ಸಾಮಾನ್ಯ ಜಲ, ಭಾರ ಜಲ, ಜೈವಿಕ ದ್ರವ ಸಾರಜನಕ, CO_2	ಹೊರಗಿನ ಶಾಖ ವಿನಿಮಯ ಕದ ಮೂಲಕ ಪ್ರವಹಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ
ಸ್ವಲ್ಪ ಸಮೃದ್ಧಿ ಹೊಂದಿದ ಯುರೇನಿಯಂ	,, ಸಾಮಾನ್ಯ ನೀರು	,, ಮತ್ತು ದ್ರವೀಕೃತ ಸೋಡಿಯಂ	,, ಅಥವಾ ತಿರುಳಿನ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಕುದಿಯುವ ನೀರಿನ ಮೂಲಕ
ಹೆಚ್ಚು ಸಮೃದ್ಧಿ (highly-enriched) ಹೊಂದಿದ ಯುರೇನಿಯಂ	,,	,,	,, ಅಥವಾ ಏಕರೂಪ ಗುಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ದ್ರಾವಣದ ಮೂಲಕ
U^{235} Pu^{239} ಅಥವಾ (+ U^{238})	—	ಸೋಡಿಯಂ	ಶೀತಕವನ್ನು ಶಾಖ ವಿನಿಮಯಕದ ಮೂಲಕ ಪ್ರವಹಿಸಿರುವುದರ ಮೂಲಕ

ಚಿತ್ರ 7.2 ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ವಿವಿಧ ಮಾದರಿಗಳು

(c) ಸಂಶೋಧನ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Research reactor)

ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುವುದು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗವಾದರೆ, ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿಯೂ ಅವುಗಳು ಅತಿ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿವೆ. ಇದು ಸಂಶೋಧನಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಸುವ ಪ್ರಯೋಗ ಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣವಾಗುವ γ–ಕಿರಣಗಳ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಇವುಗಳು ಅವಲಂಬಿ ಸಿರುತ್ತವೆ. ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಅಂತರ್ಭಾಗವಾದ ತಿರುಳಿನೊಳಗೆ ಸಂಪರ್ಕ ಹೊಂದುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಾವು ಯಾವ ಧಾತುವನ್ನು ಒಳಗೊಂಡ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಲಿ (ಸರಳಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿ) ನೂಕಿದರೆ, ಅವುಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು (radio-activity) ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ನಂತರ ಅವುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ γ–ಕಿರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಹಲವಾರು ವಿಧಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಕಟ್ಟಡದಲ್ಲಿ ತಿರುಳಿಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 4–5 ಅಡಿಗಳ ದಪ್ಪದ ಪದರವನ್ನು ಹುದುಗಿಸಿಟ್ಟಿರುತ್ತಾರೆ.

ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ನಿರ್ಮಿತವಾದ ಚಿಕಾಗೋ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಸಂಶೋಧನೆ ಗಳಿಗೆ ಸಹಾಯವಾಗಲು ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿತ್ತು. ನೀರು ಕುದಿಪಾತ್ರೆಯ (water boiler) ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿಯೂ 1944 ರಲ್ಲಿ ಲಾಸ್ ಆಲಮೋಸ್ (Las Alamos) ಸಂಶೋಧನಾಲಯದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು. ತಿರುಳು ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಸ್ಟೀಲ್ ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಕರಗಿಸಿದ ಯುರೇನಿಯಂ ಸಲ್‌ಫೇಟ್ ದ್ರಾವಣವನ್ನು ಇಡಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಮತ್ತೊಂದು ಮಾದರಿಗೆ "ಈಜುವ ಕೊಳದ" (swimming-pool reactor) ಮಾದರಿಯೆಂದು ಹೆಸರು. ಇಂಥ ಒಂದು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಬೊಂಬಾಯಿ ಸಂಶೋಧನಾಲಯದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದೆ.

ಈ ಮಾದರಿಯ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಇಂಧನ ಸಾಮಗ್ರಿ ಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಚಪ್ಪಟೆಯಾದ ಫಲಕಗಳ ಜೋಡಣೆ ಸ್ಯಾಂಡ್‌ವಿಚ್ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ಇಂಧನ ಸಾಮಗ್ರಿಯು ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಅಥವಾ ಸ್ಟೀಲಿನಿಂದ ಆವರಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಒಂದು ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸುಮಾರು 20 ಅಡಿ ಆಳದ ಜಲಾಶಯದಲ್ಲಿ ನೇರಾಗಿ ಸ್ಥಾಪಿಸ ಲಾಗಿರುತ್ತದೆ. ನೀರು, ಮಂದಕಾರಕದಂತೆಯೂ, ಪ್ರತಿಫಲಕದಂತೆಯೂ ಮತ್ತು ರಕ್ಷಾಕವಚದಂತೆಯೂ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ನೀರನ್ನು ಹೊರಗಡೆ ಇರುವ ಶಾಖ ವಿನಿಮಯಕದ ಮೂಲಕ ಪ್ರವಹಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿರುವುದರಿಂದ, ಇದರಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 1000 kW ವರೆಗೆ ಏರುವ ಸಂಭವವಿದೆ.

ಇಂಥ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯನ್ನು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಓಕ್‌ರಿಡ್ಜ್ ಸಂಶೋಧನಾಲಯದಲ್ಲಿ 1951 ರಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ಕ್ರಮೇಣ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಸಂಶೋಧನಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಬಳಕೆಗೆ ತಂದು 1957ರ ಹೊತ್ತಿಗೆ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು 175,000 kW ಗಳಿಗೆ ಏರಿಸಲಾಯಿತು.

ಭಾರ ಜಲವನ್ನು ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿಯೂ ಹಲವು ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಕೆಲವು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಮುಖ್ಯ ಧ್ಯೇಯ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂನಂಥ ವಿದಲನ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಪಡೆದಿರುವ ವಸ್ತುವನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡುವುದೇ ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

7.4 ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗಗಳು

ವಿದಲನ ಮತ್ತು ಸಂಯೋಜನ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಎರಡು ಮುಖ್ಯವಾದ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಮೊದಲನೆಯದು ವಿಧ್ವಂಸಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬಾಂಬುಗಳನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡುವ ವಿಧಾನ. ಪ್ರಪಂಚಕ್ಕೆ ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಭಾವವು ಮೊದಲು ಅರಿವಾದುದೇ ಈ ಭೀಕರ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಎರಡನೆಯ ಮಹಾಯುದ್ಧವನ್ನು ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವಾಗಿ ನಿಲ್ಲಿಸಿದ ಮಾರ್ಗ. ಈ ಹೃದಯವಿದ್ರಾವಕ ಸನ್ನಿವೇಶಗಳು ಮತ್ತೆ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಸಂಭವಗಳನ್ನು ತಡೆಗಟ್ಟುವ ಪ್ರಯತ್ನಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಬಲ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗದಿದ್ದರೂ, ಆಶಾಭಾವನೆಗಳು ತೋರುತ್ತಿವೆ. ಈ ವಿಚಾರವನ್ನು ಇಲ್ಲಿಗೇ ಬಿಟ್ಟು ಈ ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಮಾನವನ ಕಲ್ಯಾಣಕ್ಕಾಗಿಯೂ ಸುಖ ಹಿತಗಳಿಗೂ ವಿನಿಯೋಗಿಸಿದರೆ, ನಾಗರಿಕತೆಯು ಎಷ್ಟು ಪ್ರಗತಿ ಹೊಂದಬಲ್ಲದೆಂದು ಈಗ ಜನಸಾಮಾನ್ಯಕ್ಕೆ ವೇದ್ಯವಾಗಿದೆ. ಈ ಪ್ರಗತಿಯ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬಹುದು.

(i) ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪಾದನೆಗೆ ಬೇಕಾದ ಇಂಧನವನ್ನು ಒದಗಿಸುವುದು

ಪ್ರಪಂಚದ ನಾಗರಿಕತೆಯು ಮುಂದುವರಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಿ ಶೇಖರಮಾಡುವ ಸಾಧನಗಳು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದುವು. ಈ ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪಾದನೆಗೆ ಮೂಲಸ್ಥಾನಗಳು ರಾಸಾಯನಿಕ ಇಂಧನಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ

ತಯಾರುಮಾಡುವ ಕಲ್ಲಿದ್ದಲು ಮತ್ತು ತೈಲಗಳಾಗಿದ್ದುವು. ಭೂಮಿಯ ವಿವಿಧ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಸಿಕ್ಕುವ ಈ ಮೂಲಸ್ಥಾನಗಳಾದರೂ ಅಕ್ಷಯವಾದುವಲ್ಲ. ಇವುಗಳ ಉಪಯೋಗವು ಸುಮಾರು ನೂರು ವರ್ಷಗಳವರೆಗೆ ಸಾಕಾಗುವಂತೆ ಇರುವುದೆಂದು ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ವಿದ್ಯುಜ್ಜನಕಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯು ಇನ್ನೊಂದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಮೂಲಸ್ಥಾನವಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ತಯಾರಿಸಲು ಜಲವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಶಾಖವಿದ್ಯುತ್ ಜನಕ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು (hydro-electric and thermal generators) ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಬೇಕು. ಇವುಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೂ, ಮುಂದಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಅವಶ್ಯವಾಗುವ ಅಪಾರ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಲು ಸಾಕಾಗಲಾರದು. ಈ ಕೊರತೆಯನ್ನು ನಿವಾರಿಸಲು ನವೀನ ಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪಾದಕ ಮಾರ್ಗವು ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪ್ರಪಂಚದ ಶಕ್ತಿಕ್ಷಾಮವನ್ನು ನೀಗಿಸಲು ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ ಇಂಧನ (nuclear fuels) ಗಳು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಈಗಾಗಲೇ ವಿಶದವಾಗಿ ವಿವರಿಸಿರುವಂತೆ ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಂದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಳೆದು ಅದನ್ನು ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನಾಗಿ ಮಾರ್ಪಡಿಸಬಹುದು. ಈ ವಿಧಾನವು ಹಲವಾರು ಪ್ರಗತಿಪರ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ನಮ್ಮ ಭಾರತದೇಶದಲ್ಲಿಯೂ, ಇಂಥ ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ನಡೆದು ಜನ ಸಾಮಾನ್ಯಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸುವ ಹಲವಾರು ಕೇಂದ್ರಗಳು ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ತಮ್ಮ ಕಾರ್ಯಗಳನ್ನು ಆರಂಭಿಸುವುದರಲ್ಲಿವೆ. ಆರ್ಥಿಕ ದೃಷ್ಟಿ ಯಿಂದಲೂ ಕೂಡ, ಈ ವಿಧಾನವು ಮಿಕ್ಕ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಖರ್ಚು ತಗಲದೆ, ಬಳಕೆದಾರರಿಗೆ ಕಡಮೆ ದರಗಳಲ್ಲಿಯೇ ಸರಬರಾಜು ಮಾಡುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇದು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಯುರೇನಿಯಂ, ಥೋರಿಯಂ ಧಾತುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಭೂಪ್ರದೇಶಗಳು ಬಹಳ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತವೆ. U^{235}, U^{238} ಮತ್ತು Pu^{239} ಧಾತುಗಳೇ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ಇದು ಪರಮಾಣು ವಿದಲನದ ವಿಧಾನವಾದರೆ, ಮತ್ತೊಂದು ವಿಧಾನವಾದ ಪರಮಾಣು ಸಂಯೋಜನೆ (fusion) ಯ ಮಾರ್ಗವು ಇನ್ನೂ ಆಶಾದಾಯಕವಾದ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ತೋರಿಸುವಂಥದ್ದಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಬೇಕಾಗುವ ಮೂಲ ಧಾತುಗಳು ಅತಿ ಹಗುರವಾದ ಜಲಜನಕದ ಬೀಜಾಂಶಗಳೇ ಆದ್ದರಿಂದಲೂ, ಜಲ

ಜನಕದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾದ ಡ್ಯುಟೇರಿಯಂ, ಟ್ರಿಟಿಯಂ ($_1D^2$, $_1T^3$) ಹೇರಳವಾಗಿಯೂ ಹೆಚ್ಚು ತೊಂದರೆ ಇಲ್ಲದೆಯೂ ಒದಗಿಸಬಹುದಾದ ಸಂಭವವಿರುವುದರಿಂದಲೂ, ಈ ಮಾರ್ಗವನ್ನೇ ಮುಂದಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಲಾಭವಿದೆ. ಅಲ್ಲದೆ, ವಿದಲನ ವಿಧಾನಕ್ಕೆ ಬೇಕಾಗುವ ಯುರೇನಿಯಂ ಖನಿಜ ದ್ರವ್ಯಗಳು ನಿಯಮಿತ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಂದ ದೊರೆಯಬಹುದಾದುದರಿಂದ ಸಂಯೋಜನ ವಿಧಾನಗಳಿಗೆ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯವನ್ನು ಕೊಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಎಲ್ಲ ನೀರಿನಲ್ಲಿಯೂ ಇರುವ ಜಲಜನಕದಲ್ಲಿ ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿಯಾದರೂ ದೊರಕುವ $_1H^2$ ಮತ್ತು $_1H^3$ ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿದೆ. ಏನೂ ಇಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ಅಪಾರವಾದ ಸಾಗರದ ಅನಂತ ಜಲರಾಶಿಯಲ್ಲಿರುವ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಸಿಕ್ಕುವ $_1H^2$ (ಡ್ಯುಟೇರಿಯಂ) ಧಾತುವನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ ನಮಗೆ ದೊರಕುವ ಶಕ್ತಿಯು ಕಲ್ಲಿದ್ದಲು, ಎಣ್ಣೆ ಮುಂತಾದ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳಿಗಿಂತ ಕೋಟ್ಯಾಂತರ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿದ್ದು, ಈ ಸಾಗರ ಜಲರಾಶಿಯು ಒಂದು ಶಕ್ತಿ ನಿಧಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇನ್ನೂ 1000 ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳವರೆಗೆ ಬೇಕಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು ಇದರಲ್ಲಿದೆ.

ಈ ಅಕ್ಷಯವಾಗಿ ತೋರಿಬರುವ ನಿಧಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಪರಮಾಣು ಸಂಯೋಜನೆ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ತೊಡಕು ಇದೆ. ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಪರಿಹರಿಸಿದರೆ, ಮಾನವನಿಗೆ ಒಂದು ಉಜ್ಜ್ವಲ ಭವಿಷ್ಯವಿದೆ. ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಸಂಯೋಜನೆ ಮಾರ್ಗವು ಸಫಲವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಸುಮಾರು 3 ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳ ತಾಪವು ಬೇಕಾಗುವುದು. ಇದನ್ನು ಒದಗಿಸಲು ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಆಸ್ಫೋಟನ ಬಾಂಬನ್ನೇ ಸಹಾಯಕ್ಕೆ ಎಳೆಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಈ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಯು ಆರಂಭವಾದಾಗ ಅದನ್ನು ನಿಯಮಿತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ತಡೆಗಟ್ಟುವುದು ಪ್ರಕೃತ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಇನ್ನೂ ಸಾಧ್ಯವಾಗಿಲ್ಲ. ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹತೋಟಿಗೆ ತಂದು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿ ಶಾಂತಿಯುತ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಬಳಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆಯೋ ಅದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಶಾಖ ಬೀಜಾಂಶಕಾರಿ (thermo-nuclear reactor) ಗಳನ್ನು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ತಯಾರು ಮಾಡುವಂತೆ ಆಗಬೇಕು. ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು ಎರಡು ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳ ತಾಪವನ್ನು ಅಡಗಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವ ಸೂಕ್ತ ಪಾತ್ರೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಲು ವಿಶೇಷ ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ಸಫಲವಾಗಿವೆ. ಆ ತಾಪದಲ್ಲಿ ಯಾವ ವಸ್ತುವೂ ತನ್ನ ನೈಜ ರಚನೆಯ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಯಾವ ಪಾತ್ರೆಯೂ ಅದಕ್ಕೆ ಆಧಾರವಾಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಡ್ಯುಟೇರಿಯಂ ಕಣಗಳು ಆ ತಾಪದ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಅಸಾಧ್ಯ ವೇಗಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳ

ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಶೇಖರಿಸುವ ಸಮಸ್ಯೆಯು ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆ. ಕಣಗಳ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಒಂದು ಹೊಸ ಸ್ಥಿತಿಯ ಹೆಸರನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ಲಾಸ್ಮಾ (plasma) ಎಂದು ಹೆಸರು. ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಆಧಾರ 'ಪಾತ್ರೆ'ಯಂತಿರುವ ಆವರಣವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಕಾಂತೀಯ ಶಕ್ತಿ (magnetic forces) ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ, ಮೋಟಾರ್ ಟ್ಯೂಬಿನ ಆಕಾರದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಒಂದು ಉಪಕರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಆ ಕಾಂತೀಯ ಶಕ್ತಿಗಳಿಗೆ ಒಳಪಟ್ಟ 'ಪ್ಲಾಸ್ಮಾ' ದ್ರವ್ಯವು ಒಂದು ಕಾಂತೀಯ ಸೀಸೆ (magnetic bottle) ಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ತರಹ ಕಿವುಚು ಸ್ಥಿತಿ (pinch effect) ಯಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಮಾಡಲು 1965 ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿಧಾನವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು.

ಇನ್ನು ಕೆಲವು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಮಸ್ಯೆಯು ಪರಿಹಾರವಾಗಿ, ಶಾಖ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ನಿಯಮಿತ (controlled) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬಳಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವುದೆಂದು ಆಶಿಸಬಹುದು.

(ii) ರೇಡಿಯೋ ಐಸೋಟೋಪುಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗಗಳು :

ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಮಾನವನ ನಿತ್ಯ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಪ್ರಭಾವಯುತವಾದ ನೂರಾರು ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿವೆ. ಈ ಶಾಂತಿಯುತ ಮಾರ್ಗಗಳಿಂದ ಸುಖಸಂಪತ್ತುಗಳು ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಲಭಿಸಿವೆ. ಇವುಗಳು ಈ ಯಂತ್ರಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಸುಲಭ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ತಯಾರು ಮಾಡಬಹುದಾದ ಹಲವಾರು ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿವೆ. ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಹಲವಾರು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಒಳಪಡಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಇವುಗಳು β–ಕಣಗಳಾಗಿಯೋ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳಾಗಿಯೋ, γ–ಕಿರಣಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೋ ಇದ್ದು ಇವುಗಳಿಂದ ನಾವು ಉಪಯೋಗ ಪಡೆಯಬಹುದು.

ಈ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಜೈವಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಕೃಷಿ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ವೈದ್ಯವೃತ್ತಿಯಲ್ಲಿಯೂ, ಕೈಗಾರಿಕೆಯ ಉದ್ಯಮಗಳಲ್ಲಿಯೂ

ಕಾಣಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಎಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ವೃದ್ಧಿಹೊಂದಿದೆಯೆಂದರೆ, ಅದನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಹಲವಾರು ಗ್ರಂಥಗಳು ಬೇಕಾಗುವುವು. ಆದ್ದರಿಂದ ಕೆಲವು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಪ್ರಯೋಜನಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಇಲ್ಲಿ ಉದಹರಿಸಬಹುದು. ಒಂದು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಧಾತುವಿಗೂ ಅದರ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತ್ಯಾತ್ಮಕ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗೂ ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಇಲ್ಲದೆ, ಶಕ್ತಿ ವಿಸರ್ಜನೆಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಭೇದವಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪಡೆದಿರುವ ಧಾತುವು ಒಂದು 'ಪಥದ್ಯೋತಕ' (tracer) ದಂತೆ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಯೋಗ್ಯವಾಗಿದೆ. ಈ ಉಪಯೋಗದಿಂದಲೇ, ವೈದ್ಯ ಮತ್ತು ಜೈವಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ನವೀನ ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಧಾನ (technique) ವು ಕಲ್ಪಿತವಾಗಿದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಯೋಗ್ಯವಾಗಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿ ಧಾತುವನ್ನು ಅದರ ಸ್ಥಾಪಿತ ವಸ್ತುವಿಗೆ ಒಂದು 'ಗುರುತು ಬಿಲ್ಲೆ' (label or tag) ಯನ್ನಾಗಿ ಕಾಣಬಹುದು. ಸಾಧಾರಣ ಇಂಗಾಲದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 1.1% ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ C^{13} ಇರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಒಂದು ಸಂಯುಕ್ತ ವಸ್ತುವನ್ನು ಗುರುತು ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ C^{11} ಮತ್ತು C^{14} ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಹೆಚ್ಚು ಉಪಯುಕ್ತವಾಗುತ್ತವೆ. C^{14} ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಗ್ರಾಹಕ ಅಥವಾ ಛಾಯಾಗ್ರಾಹಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಪತ್ತೆಹಚ್ಚುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ ಗಮನಮಾರ್ಗವನ್ನೂ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನೂ ನಿರ್ಧರಿಸಬಹುದು. ವೈದ್ಯಕೀಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಗೈಗರ್–ಮುಲರ್ ಗಣಕಗಳನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ದುಷ್ಪರಿಣಾಮಗಳು ಕೆಲಸ ಮಾಡುವವರಿಗೆ ಅಂಟದಿರುವಂತೆ ಸೂಕ್ತ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿದೆ.

ಜೈವಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು :

ವಿವಿಧ ಜೀವಿ (organisms) ಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವಂತೆ ಸುಮಾರು 30 ಧಾತುಗಳು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಕ್ಕೆ ಬರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದುವು ಜಲಜನಕ, ಇಂಗಾಲ, ಆಮ್ಲಜನಕ, ರಂಜಕ, ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ, ಆಯೊಡೀನ್, ಕಬ್ಬಿಣ ಮುಂತಾದುವು.

ಒಂದು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಬೇಕಾದರೆ,

ಅದರ ಜೀವಿತ ಕಾಲವನ್ನು ತಿಳಿಯುವ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿದೆ. ಜೀವಿತ ಕಾಲವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಧಾತುಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಯೋಜನ ಹೊಂದಿವೆ.

ಒಂದು ಪ್ರಾಣಿಗೆ ಸಾರಜನಕವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅಮೈನೋ ಆಮ್ಲವನ್ನು (ಇದರಲ್ಲಿ N^{15} ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು) ತಿನ್ನಿಸುವುದರಿಂದ, ಅದರ ವಿವಿಧ ಅಂಗಗಳಾದ ಹೃದಯ, ರಕ್ತ, ಶ್ವಾಸಕೋಶಗಳ ಮೂಲಕ ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಯಾವ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಪ್ರವಹಿಸುತ್ತದೆ ಎಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

ದೇಹದ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ 'ರೇಡಿಯೋ ಸೋಡಿಯಂ' ಇರುವ ಅದರ ಕ್ಲೋರೈಡನ್ನು ಚುಚ್ಚಿದರೆ (injected) ಅದು ದೇಹದ ಒಳಗೆ ಯಾವ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಪ್ರವಹಿಸುತ್ತದೆಂಬ ವಿಷಯವನ್ನು ಗೈಗರ್–ಮುಲರ್ ಗಣಕದ ಮೂಲಕ ಅಳೆದು ನೋಡಬಹುದು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಥೈರಾಯಿಡ್ ಗ್ರಂಥಿಯಲ್ಲಿಯೂ, ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು 'ರೇಡಿಯೋ ಅಯೊಡೀನ್' ನಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಅತಿ ಪ್ರಮುಖವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಯು 1938 ರಲ್ಲಿ ಷೋನ್‌ಹೈಮರ್ (Schoenheimer) ಮತ್ತು ರಿಟ್ಟನ್‌ಬರ್ಗ್ (Rittenberg) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದಿತು. ನಾವು ಸೇವಿಸುವ ಆಹಾರ ಪದಾರ್ಥದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಕೊಬ್ಬು (fat), ಸಸಾರಜನಕ (protein) ಮತ್ತು ಶರ್ಕರ ಪಿಷ್ಟ (carbohydrate) ಅಂಗಗಳು ನಮ್ಮ ದೇಹದಲ್ಲಿರುವ ಇದೇ ಸಾಮಗ್ರಿಗಳ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆಂಬುದರ ತತ್ತ್ವವು ವಿಶದವಾಯಿತು. ಆದುವರೆಗೆ ತಿಳಿಯಲಾಗಿದ್ದಂತೆ, ದೇಹದಲ್ಲಿರುವ ಈ ಅಂಗಗಳು ಸ್ಥಾಯೀ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಇಲ್ಲವೆಂದೂ, ಚಲನ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಇದ್ದು ಹೊರಗಿನಿಂದ ಬಂದ ಅದೇ ಆಹಾರ ಪದಾರ್ಥಗಳೊಡನೆ ವಿನಿಮಯವಾಗುವ (dynamic state of the body constituents) ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಿದೆಯೆಂದೂ ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ $_1H^2$, N^{15} ಮತ್ತು P^{32} ಧಾತುಗಳನ್ನು ಪಥದ್ಯೋತಕಗಳನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಯಿತು. ರಕ್ತದ ಕಣಗಳಿಗೂ, ಹೇಮೋಗ್ಲಾಬಿನ್ ರಚನೆಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತೆ ರಕ್ತಪರೀಕ್ಷೆಯ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಕಬ್ಬಿಣದ ಐಸೊಟೋಪಾದ Fe^{59} ಬಹಳ ಉಪಯೋಗಕಾರಿಯಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಕ್ರೋಮಿಯಂ ಸಮಸ್ಥಾನಿ Cr^{51} ಕೂಡ ಸಹಕಾರಿಯಾಯಿತು.

ವೈದ್ಯಶಾಸ್ತ್ರ ಮತ್ತು ಕೃಷಿ ಕೈಗಾರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗ

ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ವ್ಯಾಧಿ ನಿರ್ದೇಶನ (diagnosis) ದಲ್ಲಿಯೂ,

ವ್ಯಾಧಿ ನಿರ್ಮೂಲನ (therapy) ದಲ್ಲಿಯೂ ವಿಶೇಷ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಉಂಟು ಮಾಡಿವೆ.

ರಕ್ತ ಚಲನೆಯ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಅಡಚಣೆಗಳಿದ್ದರೆ ಅವುಗಳನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲು Na^{24} (ರೇಡಿಯೋ ಸೋಡಿಯಂ) ಉಪಯೋಗದಲ್ಲಿದೆ [*NaCl]. ದ್ರಾವಣವನ್ನು ರೋಗಿಯ ತೋಳಿನಲ್ಲಿ (ಅಭಿಧಮನಿ–vein) ಚುಚ್ಚಿದರೆ, ಅವನ ಪಾದದ ಹತ್ತಿರ ಒಂದು ಗೈಗರ್–ಮುಲರ್ ಗಣಕವನ್ನಿಟ್ಟು ಅದರಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಅದರ ಪ್ರಮಾಣ ಮತ್ತು ಕಂಡುಬರುವ ಕಾಲದ ಅವಧಿಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿ, ಪ್ರತಿಬಂಧಕವು ಎಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿದೆಯೆಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ನಿವಾರಣ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಥೈರಾಯಿಡ್ ಗ್ರಂಥಿಗೆ $*I^{127}$ (ಅಯೊಡೀನ್ ಸಮಸ್ಥಾನಿ) ಯನ್ನು ಚುಚ್ಚುವುದರಿಂದ ಥೈರಾಕ್ಸಿನ್ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೇಗೆ ಶೇಖರವಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಅಯೊಡೀನ್ ಇರುವ ರೇಡಿಯೋ ಅಯೋಡಿನ್ ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಬಾಯಿಯ ಮೂಲಕವೂ ಸೇವಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಆ ಗ್ರಂಥಿಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಬರಬಹುದಾದ ವ್ರಣಸಂಬಂಧವಾದ ಉಪದ್ರವಗಳನ್ನೂ ನಾಶಮಾಡಬಹುದು.

ಮಿದುಳಿನ ಬಾವುಗಳಿಗೆ (tumours) I^{131} ಉಪಯೋಗವಾಗುತ್ತದೆ. ಲ್ಯುಕೀಮಿಯ ಮುಂತಾದ ರಕ್ತಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವ್ಯಾಧಿಗಳನ್ನು P^{32} ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ β–ಕಿರಣಗಳು ಶಮನ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ದ್ಯುತಿ ಸಂಯೋಜನೆ (photo-synthesis) ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ಸಮಸ್ಯೆಗಳೂ C^{11}, C^{14} ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಮೂಲಕ ಪರಿಹಾರವಾಗಿವೆ.

ಕೃಷಿಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, P^{32} ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಿಂದ ಗೊಬ್ಬರಗಳಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಫಾಸ್‌ಫೇಟ್‌ಗಳು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಬೆಳೆಗಳನ್ನು ವೃದ್ಧಿಪಡಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಬೇಕಾಗುವ ಈ ಗೊಬ್ಬರಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಕೃಷಿಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾಗಿವೆ. ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಕಾರ್ಬನ್ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ ಫಲಕಾರಿಯಾಗಿವೆ. ಕೈಗಾರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಮೇಲ್ಮೈಗಳು (surfaces) ಮತ್ತು ತೆಳುವಾದ ಪದರಗಳು (films) ಯಾವ ಯಾವ ಲೋಹ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗದಲ್ಲಿವೆಯೋ, ಅಲ್ಲಿ 'ಟ್ರೇಸರ್'

ವಿಧಾನವು ಫಲಕಾರಿಯಾಗಿದೆ. ತೈಲ ಕೈಗಾರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ C^{14} ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿದೆ. ಹಾಗೆಯೇ, ಘರ್ಷಣೆ (friction) ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಲೋಹವಿಜ್ಞಾನದ ಹಲವು ಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಇದು ಯೋಗ್ಯವಾದ ವಿಧಾನ.

ಲೋಹದ ಜೋಡಣೆಗಳಲ್ಲಿ (castings and joints) ಇರಬಹುದಾದ ನ್ಯೂನತೆಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು x–ಕಿರಣಗಳು ಉಪಯೋಗವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ γ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ವಿಕಿರಣಮಾಡುವ ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗುತ್ತವೆ. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ರೇಡಿಯೋ ಕೋಬಾಲ್ಟ್ Co^{60} ಅತಿ ಸುಲಭವಾಗಿ ಪಡೆಯಬಹುದಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದು γ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವುದರಲ್ಲಿ ಹೊಂದಿರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ಪಡೆಯಬಹುದು. ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಬೆಲೆಯುಳ್ಳದ್ದೂ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಸಿಕ್ಕುವ ಹಾಗೂ ಇರುವ ರೇಡಿಯಂಗಿಂತ Co^{60} ಬಹಳ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿದೆ. ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ ಮುಂತಾದ ಪ್ರಬಲ ವ್ರಣ ವ್ಯಾಧಿಗಳನ್ನು ಗುಣಪಡಿಸಲು ಜನಸಾಮಾನ್ಯಕ್ಕೆ ಸುಲಭವಾಗಿ ದೊರಕುವ ವಸ್ತುವೆಂದರೆ Co^{60}. ಇದೇ ತರಹ ಉಪಯುಕ್ತವಾದ ಮತ್ತೊಂದು ವಸ್ತುವು Cs^{137}. ಇದು ಹೆಚ್ಚು ಜೀವಿತ ಕಾಲದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಇದರ ಉಪಯುಕ್ತತೆ ಹೆಚ್ಚು. ಈ ಕೆಲವೇ ಉದಾಹರಣೆಗಳಿಂದ ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಉಪಯೋಗವು ಎಷ್ಟು ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿದೆಯೆಂಬುದೂ, ಇವುಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಬಹುದಾದ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು ಎಷ್ಟು ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿವೆಯೆಂಬ ಅಂಶವೂ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

7.5 ಯುರೇನಿಯಂ ಅತೀತ ಧಾತುಗಳು (Trans–uranic elements)

ಯುರೇನಿಯಂ ಧಾತುವಿನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 92 ಮತ್ತು ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ 238. ಪರಮಾಣು ವಿದಲನದ ಸಂಬಂಧವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆದ ನಂತರ ಇದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ತೂಕಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಧಾತುಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಇಂಥ ಧಾತುಗಳನ್ನು ಯುರೇನಿಯಂ ಆಚೆ ಇರುವ ವಸ್ತುಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿರುವುದು.

ಖಚಿತವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಗಳು 93 ರಿಂದ ಕ್ರಮವಾಗಿ 103 ರ ವರೆಗೆ ಏರಿದೆ. ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ನಡೆಸಲಾಗುತ್ತಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಹೊಸ ಹೊಸ ಧಾತುಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ನಿರೀಕ್ಷೆ ಇದೆ.

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿರುವ ಧಾತುವೆಂದರೆ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ. ಇದನ್ನು ಮಂದವೇಗದ ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡಿಸಿ, ಅವುಗಳನ್ನು ಆಸ್ಫೋಟಕ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಗೂ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇಷ್ಟ ಬಂದಂತೆ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದರ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆ. 1940 ರಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಕ್‌ಮಿಲ್ಲನ್ ಮತ್ತು ಏಬಲ್‌ಸನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 93 ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಧಾತುವನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡಿದರೆ, U^{238} ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿದರೆ ಮೊದಲು U^{239} ಧಾತುವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಇದರ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲವು 23 ನಿಮಿಷಗಳು ಮಾತ್ರ ಇದ್ದು ಅದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರ ಬೀಳುವುದರ ಮೂಲಕ ಬರುವ ವಸ್ತುವು 'ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ' ಎಂಬ ಹೆಸರನ್ನು ಪಡೆಯಿತು. ಇದೂ ಕೂಡ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಅದರ ಜೀವಿತ ಕಾಲವು 2.3 ದಿವಸಗಳೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

$$_{92}U^{238} + {_0n^1} \rightarrow {_{92}U^{239}} + \gamma$$

$$_{92}U^{239} \xrightarrow{\beta} {_{93}Np^{239}} + {_{-1}e^0} \qquad (7.4)$$

ಇದಕ್ಕೆ $_{93}Np^{238}$ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಸಮಸ್ಥಾನಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ β–ಕಿರಣವು ಹೊರಬೀಳುವುದರ ಮೂಲಕ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು $_{94}Pu^{238}$ ಆಗಿದ್ದು ಇದರ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲವು 90 ವರ್ಷ. ಹೀಗೆಯೇ 1941 ರಲ್ಲಿ ಕೆನ್ನೆಡಿ, ಸೀಬೋರ್ಗ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು $_{94}Pu^{239}$ ವಸ್ತುವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿದರು. ಇದರ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲವು 24,460 ವರ್ಷಗಳಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದರ ಉಪಯೋಗವು ಅತಿ ಮಹತ್ತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

$$_{93}Np^{239} \rightarrow {_{94}Pu^{239}} + {_{-1}e^0} \qquad (7.5)$$

ಇನ್ನೂ ಇತರ ಧಾತುಗಳು ಕ್ರಮೇಣ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು ಅವುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳೆಲ್ಲವೂ ಗೊತ್ತಾದುವು. ಮುಂದಿನ ಪುಟದ ಪಟ್ಟಿಯು ಇವುಗಳ ವಿವರಗಳನ್ನು ಕೊಡುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ Z	ಧಾತುವಿನ ಹೆಸರು	ಬೀಜಾಂಶದ ಸಂಕೇತ	ಕಂಡುಹಿಡಿದ ವರ್ಷ	ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು	ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳು	ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲ
93	ನೆಪ್ಟ್ಯೂನಿಯಂ	$_{93}Np^{237}$	1940	ಮ್ಯಾಕ್‌ಮಿಲನ್, ಏಬಲ್ಸನ್	$_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^{i}$	23 ನಿಮಿಷ
94	ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ	$_{94}Pu^{242}$	1941	,,	$*_{93}Np^{239} \rightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^{0}$	2.3 ದಿವಸ
95	ಅಮೆರಿಸಿಯಂ	$_{95}Am^{243}$	1945	,,	$_{92}{*}U^{238} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{94}Pu^{241} + {}_{0}n^{1}$	475 ವರ್ಷ
96	ಕ್ಯೂರಿಯಂ	$_{96}Cm^{245}$	,,	,,	$_{94}Pu^{241} \rightarrow {}_{95}Am^{241} + {}_{-1}e^{1}$	$=Cm^{245}$
97	ಬರ್ಕೀಲಿಯಂ	$_{97}Bk^{249}$	,,	,,	$_{94}Pa^{239} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{96}Cm^{242} + {}_{0}n^{1}$	28.000
98	ಕ್ಯಾಲಿಫೋರ್ನಿಯಂ	$_{98}Cf^{249}$	,,	ರಾಸ್ಸಿ, ಥಾಂಸನ್	$_{95}Am^{241} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{92}Bk^{243} + 2\,{}_{0}n^{1}$	1 ವರ್ಷ
99	ಐನ್‌ಸ್ಟೀನಿಯಂ	$*_{99}E^{254}$	1953-54	ಮತ್ತು ಇತರರು	$_{96}Em^{242} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{95}Cf^{244} + 2\,{}_{0}n^{1}$	Cm 249 =500 ವರ್ಷ
100	ಫರ್ಮಿಯಂ	$*_{100}Fm^{255}$	,,	,,	ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂಗೂ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಘರ್ಷಣೆ	
101	ಮೆಂಡಲೀವಿಯಂ	$_{101}Mv^{256}$	1955	ಸೀಬೋರ್ಗ್	ಐನ್‌ಸ್ಟೀನಿಯಂ + α-ಕಿರಣಗಳು	
102	ನೊಬಿಲಿಯಂ	No	1957	ಫೀಲ್ಡ್ಸ್ ಮತ್ತು ಇತರರು	ಕ್ಯೂರಿಯಂ + ಇಂಗಾಲದ ಅಯಾನ್‌ಗಳು	
103						
etc						

ಚಿತ್ರ 7.8 ಯುರೇನಿಯಂ ಅತೀತ ಧಾತುಗಳ ಪಟ್ಟಿ

ಹಿಂದಿನ ಪುಟದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದ ಒಂದೊಂದು ಧಾತುವೂ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದಕ್ಕೂ ಹಲವಾರು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲದ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಕೆಲವೇ ನಿಮಿಷಗಳಿಂದ ಹಿಡಿದು ಸಾವಿರಾರು ವರ್ಷಗಳವರೆಗೆ ಇರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ಗುಣಗಳನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದ ಯಂತ್ರೋಪ ಕರಣಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ವಸ್ತುಗಳ ಗಾತ್ರಗಳು 10^{-5} cc— 0^{1}_1 cc ಅಷ್ಟು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಮಾಣಗಳಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಪಾತ್ರೆಗಳನ್ನು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ನಾಳಿಕೆಗಳಿಂದ ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ತೂಕಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳು 0.1—100 ಮೈಕ್ರೋ ಗ್ರಾಂ (10^{-6} gm) ಗಳಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳನ್ನು ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ತ್ರಾಸುಗಳಿಂದ (ultra - micro - chemical balances) ತೂಗಬೇಕಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ರಸಾಯನ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ (ultra-micro-chemistry) ಒಂದು ನವೀನ ಶಾಖೆಯೇ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾಯಿತು.

ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಸಂತಾನ ಪರಂಪರೆಗೆ ಮತ್ತೊಂದು ಹೊಸ ಪಟ್ಟಿಯು ನಿರ್ಮಾಣವಾಯಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ ಪರಂಪರೆಯೆಂದು ಹೆಸರು. ಇದನ್ನು $(4n + 1)$ ಸರಣಿಯೆಂದೂ ಕರೆಯಬಹುದು.

$$\,_{93}Np^{237} \xrightarrow{\alpha} Pa^{233} \rightarrow U^{233} \rightarrow Th^{229} \rightarrow Ra^{225} \rightarrow \ldots \rightarrow Pb^{209} \rightarrow Bi^{209}$$

(ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ ಸರಣಿ) (7.5)

7.6 ಭಾರತ ದೇಶದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪ್ರಗತಿ

ಭಾರತವು ಸ್ವತಂತ್ರ ದೇಶವಾದಮೇಲೆ, ಪ್ರಧಾನಿ ನೆಹ್ರೂರವರ ಮಾರ್ಗದರ್ಶಿತ್ವ ದಲ್ಲಿಯೂ, ದಿವಂಗತ ಡಾ|| ಹೋಮೀ ಭಾಭಾರವರ ಪ್ರತಿಭೆಯ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿಯೂ, ಮಿಕ್ಕ ದೇಶಗಳಿಗೆ ಸರಿಸಮಾನವಾದ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಬೊಂಬಾಯು ಹತ್ತಿರ ಇರುವ ಟ್ರಾಂಬೆಯಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನಾ ಕೇಂದ್ರವು ಏರ್ಪಟ್ಟಿದೆ. ಅಂತರರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ಖ್ಯಾತಿ ಯನ್ನು ಪಡೆದಿದ್ದ ಡಾ|| ಭಾಭಾರವರ ಪರಿಶ್ರಮದಿಂದ ಈ ಕೇಂದ್ರಕ್ಕೆ ವಿಶೇಷ ಮನ್ನಣೆ ದೊರೆತಿದೆ. ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಪ್ರಗತಿ ಹೊಂದಿರುವ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳ ನಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ದೇಶಕ್ಕೂ ಒಂದು ಗಣ್ಯ ಸ್ಥಾನವು ಲಭಿಸಿದೆ. ನೂರಾರು ಪ್ರತಿಭಾವಂತರಾದ ತರುಣ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿರುತ್ತಾರೆ.

ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಸಂಶೋಧನಾ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಕೆಲಸಗಳು ಮಹತ್ತ್ವಪೂರಿತವಾಗಿವೆ. ಹಲವು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು (nuclear reactors) ಅತ್ಯಂತ ನವೀನ ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿ, ಅವುಗಳಿಂದ ಹಲವಾರು ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ತಯಾರಾಗಿ ಅವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ವಿವಿಧ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತಿವೆ. ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡುವ ಮೂರು ಪ್ರಮುಖ ಕೇಂದ್ರಗಳು ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗುತ್ತಿವೆ. ಕಾಲಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಇವುಗಳು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿ ಜನಸಾಮಾನ್ಯಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಗಿಂತ ಕಡಮೆ ದರದಲ್ಲಿ ಬಳಕೆಯಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಲು ಸಹಕಾರಿಯಾಗುತ್ತವೆ.

ಯಂತ್ರೋಪಕರಣಗಳಿಗೆ ಬೇಕಾದ ಬಹುಪಾಲು ಅಂಗಗಳೆಲ್ಲವನ್ನೂ ಭಾರತದಲ್ಲಿಯೇ ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡುವ ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ಸಫಲವಾಗುತ್ತಿವೆ. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾದ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವನ್ನು ಭಾರತವು ಹೊಂದಿರುವುದೆಂದರೆ, ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಧ್ವಂಸಕ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸದೆ, ಕೇವಲ ಶಾಂತಿಯುತವಾದ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ತೊಟ್ಟಿರುವ ದೃಢ ಸಂಕಲ್ಪ–ಇತರ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳಿಗೆ ಮಾರ್ಗದರ್ಶಕವಾಗಿರುವಂತೆ ಇದೆ.

ನಮ್ಮ ಭಾರತದೇಶದಲ್ಲಿ ಈಗ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ವಿವರಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೊಟ್ಟಿದೆ.

1) **'ಅಪ್ಸರ'** (Apsara). ಟ್ರಾಂಬೆಯಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಲಾಗಿರುವ ಪ್ರಥಮ ಭಾರತೀಯ ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ—ಇದು 1956 ರಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕವಾಗಿ ಪ್ರಾರಂಭವಾಯಿತು. ಇದು ಈಜುವ ಕೊಳದ ಮಾದರಿಯದು ಮತ್ತು ಉತ್ಪಾದನಾ ಶಕ್ತಿಯು 1 ಮೆಗವಾಟ್ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಯುರೇನಿಯಂ ಇಂಧನವನ್ನೂ, ಭಾರಜಲದ ಮಂದಕಾರಿಯನ್ನೂ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗಿದೆ.

2) **'ಸಿರಸ್'** (Cirus). ಕೆನಡ ದೇಶದ ಸಹಕಾರದಿಂದ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಈ ಯಂತ್ರವು 1961 ರಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡಲು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿತು. ಇದರ ಶಕ್ತಿ 40 ಮೆಗವಾಟ್.

3) **'ಜ಼ರ್‌ಲೀನ'** (Zerlina). ಇದೊಂದು ಸಂಶೋಧಕ ಮಾದರಿಯ ಯಂತ್ರ.

ಈ ಯಂತ್ರಗಳೆಲ್ಲವೂ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ರೇಡಿಯೋ ಐಸೋಟೋಪುಗಳನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿಯೂ, ಉಪಯೋಗವಾಗುತ್ತಿವೆ. ದೇಶದಲ್ಲಿರುವ ಹಲವಾರು ಆಸ್ಪತ್ರೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಸಾಮಗ್ರಿಗಳು ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿದ್ದು, ಬಹಳ ಲಾಭದಾಯಕವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿವೆ.

ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪಾದಕ ಯಂತ್ರಗಳು :

ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡಲು ಮೂರು ಪ್ರದೇಶಗಳನ್ನು ಚುನಾಯಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಥಮ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಮಹಾರಾಷ್ಟ್ರ ರಾಜ್ಯದಲ್ಲಿರುವ ತಾರಾಪೂರ್ ಕೇಂದ್ರವು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಅಮೆರಿಕ ದೇಶದ ಸಹಾಯದಿಂದ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿರುವ ಈ ಯಂತ್ರವು ಈಗಾಗಲೇ ತನ್ನ ಉತ್ಪಾದನೆಯನ್ನು ಆರಂಭಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಉತ್ಪಾದನಾ ಶಕ್ತಿಯ ಅಂದಾಜು ಸುಮಾರು 380 ಮೆಗವಾಟ್‌ಗಳಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ರಾಜಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ಮದರಾಸಿನಲ್ಲಿಯೂ ಮತ್ತೆರಡು ಉತ್ಪಾದನಾ ಕೇಂದ್ರಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತಿವೆ. ಮುಂದಿನ ಯೋಜನೆಗಳಲ್ಲಿ ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುವ ಆಶಯಗಳಿವೆ.

ಕೇರಳ, ಮದರಾಸ್ ಮತ್ತು ಬಿಹಾರ್ ರಾಜ್ಯಗಳಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಥೋರಿಯಂ ಅದರುಗಳು ಹೇರಳವಾಗಿ ಸಿಕ್ಕಿವೆ. ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿಯೇ ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಥೋರಿಯಂ ಮೂಲಕೇಂದ್ರಗಳು ನಮ್ಮ ದೇಶದಲ್ಲಿವೆ.

ಹೀಗಾಗಿ, ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದ ನಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ದೇಶಕ್ಕೆ ಬಹಳ ಉಜ್ಜ್ವಲ ಸ್ಥಾನವಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

ಅಧ್ಯಾಯ 8

ಪರಮಾಣು ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳು

8.1 ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಗಾತ್ರ ಮತ್ತು ತೂಕ

α–ಕಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ರದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ಗಾತ್ರದ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಒಂದು ಅಂದಾಜು ಸಿಕ್ಕುತ್ತದೆ. ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಎಷ್ಟು ಸಮೀಪದವರೆಗೂ α–ಕಣಗಳು ತಲಪಬಲ್ಲುವು ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಸುವ ದೂರವು d_0 ಆದರೆ,

$$d_0 = 10^{-12} \text{ ಸೆಂ.ಮೀ. ಆಗುತ್ತದೆ (ಸುಮಾರು).} \qquad (8.1)$$

ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದ ತ್ರಿಜ್ಯದ ಪ್ರಮಾಣದ ಅವಧಿಗಳು (effective nuclear radii) 10^{-13} ಸೆಂ. ಮೀ. ನಿಂದ 10^{-12} ಸೆಂ. ಮೀ. ಗಳೆಂದು ತಿಳಿದುಬರುತ್ತದೆ. ಈ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕವನ್ನು (mass number) ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. A ಎಂಬುದು ಈ ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ ಆಗಿ, R = ಬೀಜಾಂಶ ತ್ರಿಜ್ಯ ಆದರೆ

$$R = R_0 A^{1/3} \qquad (8.2)$$

$$\text{ಇದರಲ್ಲಿ } R_0 = 1.2 \times 10^{-13} \text{ ಸೆಂ.ಮೀ.} \qquad (8.3)$$

$$\text{ಇಂಗಾಲಕ್ಕೆ } A = 12 \text{ ಆದರೆ } R = 1.2 \times 12^{1/3} = 2.8 \times 10^{-13} \text{ ಸೆಂ.ಮೀ.}$$

$$\text{ಯುರೇನಿಯಂಗೆ } A = 238 \quad R = 1.2 \times 238^{1/3} = 7.4 \times 10^{-13} \text{ ಸೆಂ.ಮೀ.} \qquad (8.4)$$

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ತ್ರಿಜ್ಯವು 2×10^{-13} ಸೆಂ. ಮೀ. ಎಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಇದಕ್ಕಿಂತ ಸಾವಿರಾರು ಪಾಲು ತೂಕವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳ

ತ್ರಿಜ್ಯಗಳೂ ಸುಮಾರಾಗಿ ಅದೇ ಪ್ರಮಾಣವೆಂದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದ ತೂಕವು ಅದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಅವಲಂಬಿಸಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಅದರಲ್ಲಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವೇ ಇಲ್ಲವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ತೂಕಕ್ಕೂ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೂ ಸಂಬಂಧವಿಲ್ಲವೆಂದು ಊಹಿಸ ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ತ್ರಿಜ್ಯವು 10^{-8} ಸೆಂ.ಮೀ. ಆಗಿಯೂ, ಅದರ ಬೀಜಾಂಶದ ತ್ರಿಜ್ಯವು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ. ಆಗಿಯೂ ಇರುವುದರಿಂದ ಈ ಪ್ರದೇಶವು ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಖಾಲಿಯ ಪ್ರದೇಶದಂತೆಯೇ ಕಾಣುವುದು.

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳು ಎರಡು ಬಗೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವಾದ ಪ್ರೋಟಾನ್, ಮತ್ತೊಂದು ಶೂನ್ಯವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್. ಒಂದು ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ Z ಆದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯೆಂದು ಹೆಸರು. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಧಾತುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಮೊತ್ತ ತೂಕವು ಪೂರ್ಣಾಂಕಕ್ಕೆ ಅತಿ ಸಮೀಪ ವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಪರಮಾಣು ತೂಕಮಾನ (1 a.m.u.) ದಲ್ಲಿಡುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ.

$$1 \text{ a.m.u.} = 16.6 \times 10^{-24} \text{ ಗ್ರಾಂ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು.} \quad (8.5)$$

ಒಂದೊಂದು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗೂ ಒಂದೊಂದು (ಪೂರ್ಣಾಂಕದ) ತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆ ಯಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು A ಎಂದು ಕರೆದರೆ, ಆ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ Z ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ (A–Z) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇರುವಂತೆ ತಿಳಿಯಬೇಕು.

ಬೀಜಾಂಶದ ಮೊತ್ತ ತೂಕವನ್ನು M ಎಂದೂ, ಅದರ ತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು A ಎಂದೂ ಕರೆದರೆ,

$$\triangle = (M-A) = \text{ತೂಕದ ಕೊರತೆ (mass defect) ಆಗುತ್ತದೆ.} \quad (8.6)$$

ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಇದು ಋಣ (negative) ವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಅತಿ

ಹಗುರವಾದ ಮತ್ತು ಅತಿ ಭಾರವಾದ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಇದು ಧನ (positive) ವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಇದು ಬೀಜಾಂಶದ ಬಂಧನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಅವರ ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನೂ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ವಿಚಾರವನ್ನು ಹಿಂದೆಯೇ ಪ್ರಸ್ತಾವಿಸಲಾಗಿದೆ. ಕೆಲವು ಉದಾಹರಣೆಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುತ್ತದೆ.

ಬೀಜಾಂಶ	Δ
$_1H^1$	+ 0.00813
$_{17}Cl^{35}$	− 0.067
$_{92}U^{238}$	+ 0.140

8.2 ಬೀಜಾಂಶದ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ

ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅದರ ಬೀಜಾಂಶವೂ ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಎರಡು ಅಂಗಗಳ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವಿಂಗಡಿಸ ಬಹುದು. ಮೊದಲನೆಯದು ಬೀಜಾಂಶವನ್ನೂ ಅದರ ಹೊರಗಡೆ ಇರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನೂ ಬಂಧಿಸುವ ಶಕ್ತಿ. ಇದು ಅಷ್ಟು ಗಮನಾರ್ಹವಾದ ಪ್ರಮಾಣ ದಲ್ಲಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಇರಬೇಕಾದ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವೇ ಅತಿ ಗಣನೀಯವಾದುದು. ಇದನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಪರಮಾಣುವಿನ ಒಟ್ಟು ತೂಕಕ್ಕೂ, ಅದರ ಬೀಜಕಣಗಳ ಮೊತ್ತ ತೂಕಕ್ಕೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಅದನ್ನು ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ಶಕ್ತಿ ರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತಿಸಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡ ಬಹುದು.

ಒಂದು ಧಾತುವಿನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ $= Z$, ಜಡಾಂಶದ ಸಂಖ್ಯೆ $= A$, $m_H =$ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ತೂಕ, $m_n = 1$ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ತೂಕ, ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಅದರ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ Z ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, (A-Z) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, Z ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇರಬೇಕು.

$$m_H = 1.008145 \text{ a.m.u.}$$
$$m_n = 1.008986 \quad ,,$$

ಆ ಬೀಜಾಂಶದ ಒಟ್ಟು ತೂಕ M ಆದರೆ, ಅದರ ತೂಕದ ಕೊರತೆಯು

$$\triangle M = Z.\, m_H + (A\text{-}Z)\, m_n - M$$

[ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ತೂಕಗಳು ಸೇರಿಲ್ಲ] (8.7)

ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ $= 931.\ \triangle M.$ (MeV) $= E$ (8.8)

ನಿಯಾನ್ ಬೀಜಾಂಶ ($_{10}Ne^{20}$) ವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, $A = 20, Z = 10,$

$$M = 19.99877$$

$\therefore \quad E =$ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ $= 160$ MeV.

ಇದನ್ನು ಒಟ್ಟು ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ 20 ರಿಂದ ಭಾಗಿಸಿದರೆ,

ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ (nucleon) ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ =

$\frac{160}{20} = 8$ MeV ಆಗುತ್ತದೆ. (8.9)

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ $_{83}Bi^{209}$ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರ ಮಾಡಿದರೆ

$$E = 1640 \text{ MeV.}$$

ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ $\frac{1640}{209} = 7.8$ MeV ಆಗುತ್ತದೆ.

ಅತಿ ಹಗುರ ಕಣಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟುಬಿಟ್ಟು $_8O^{16}$ ನಿಂದ ಆಚೆ ಇರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರಾಗಿ 8 MeV ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅದರ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಬೆಲೆಯು ಸುಮಾರು 8.5 MeV ಆಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ, A ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಒಂದು ನಕ್ಷೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ಬರುವ ರೇಖೆಯ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ, ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿಶದವಾಗಿ ಪ್ರಸ್ತಾವಿಸಿ ಅದಕ್ಕೂ ಬೀಜಾಂಶದ ಸುಭದ್ರತೆಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನೂ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ (ಚಿತ್ರ 6.1).

8.3 ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಬಲಗಳು (Nuclear forces)

ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಪರಸ್ಪರ ಬಲಗಳು ಯಾವ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು ಮತ್ತು ಅವುಗಳು ಯಾವ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿರಬೇಕು ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಯನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು. ಈ ಪರಿಶೀಲನೆಯಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವಿಸುವ ಸಮಸ್ಯೆಗಳು ಒಂದು ವಿಧದಲ್ಲಿ ಪರಿಹಾರವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅತಿ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿಯೂ ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾಗಿಯೂ ಇರುವ ನಿರೂಪಣೆ ಇನ್ನೂ ಕಾಣುತ್ತಿಲ್ಲವೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಗಮನಿಸುವಾಗ, ಅತ್ಯಂತ ಭಾರವಾದ (ಅಂದರೆ, ಯುರೇನಿಯಂ, ಥೋರಿಯಂ ಇತ್ಯಾದಿ) ವಸ್ತುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಂದ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ ಕಣಗಳೂ ಶಕ್ತಿಯೂ ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ ಅನಿಯಂತ್ರಿತವಾಗಿಯೂ ಹೊರಬೀಳುತ್ತ ಇದ್ದು, ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸ್ವರೂಪವೇ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತಿರುವ ಸನ್ನಿವೇಶಕ್ಕೆ ನಿಜವಾದ ಕಾರಣವು ಏನು ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಹಾಗೆಯೇ ಬಹುತೇಕವಾಗಿ, ಮಿಕ್ಕ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಭದ್ರತೆಯಿರುವುದನ್ನೂ ಕಾಣುತ್ತೇವೆ. ಇವೆಲ್ಲಕ್ಕೂ ಸಮಂಜಸವಾದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಬೀಜಕಣಗಳಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಪ್ರೋಟಾನ್ (p) ಗಳೂ, ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (n) ಗಳೂ ಇರುವಾಗ ನಾವು ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಇರಬಹುದಾದ ಬಲಗಳನ್ನು ಮೂರು ಗುಂಪುಗಳನ್ನಾಗಿ ತಿಳಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅವುಗಳನ್ನು (p-p), (p-n) ಮತ್ತು (n-n) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಒಂದು ಅಂಶವೇನೋ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಕಾಣುತ್ತದೆ. ಬೀಜಾಂಶದ ಗಾತ್ರದ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನೂ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿರುವ ಅದರ ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನೂ ಅವಲೋಕಿಸಿದರೆ, ಈ ಬೀಜ ಬಲಗಳು (nuclear forces) ಅತ್ಯಲ್ಪ ಅಂತರಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ (short-range) ಬಲಗಳಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಸಾಪೇಕ್ಷವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚು ಅಂತರಗಳಿಗೆ ಮಾತ್ರ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಬಲ (gravitational fields) ಗಳಾಗಲಿ, ವಿದ್ಯುತ್ಕ್ಷೇತ್ರ ಬಲ (electrostatic fields) ಗಳಾಗಲಿ ಇಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಜನ ಹೊಂದಿರಲಾರವು. ಇವುಗಳು ವಿಲೋಮ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಂತರದ ಎರಡನೆಯ ವರ್ಗ (inverse square) ದ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಒಳಪಟ್ಟಿರುತ್ತವೆ. ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಅನೇಕ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 8 MeV ಆಗಿದ್ದು ಅಷ್ಟಾಗಿ ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದುವುದಿಲ್ಲ; ಅಂದರೆ, ಬೀಜಬಲಗಳು ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಸಂತುಷ್ಟ ಸ್ಥಿತಿ (saturation character) ಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆಯೆಂದು ಅರ್ಥ ಬರುತ್ತದೆ. ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತುಬಂದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ (p–p), (p-n) ಮತ್ತು (n-n) ಎಂದು

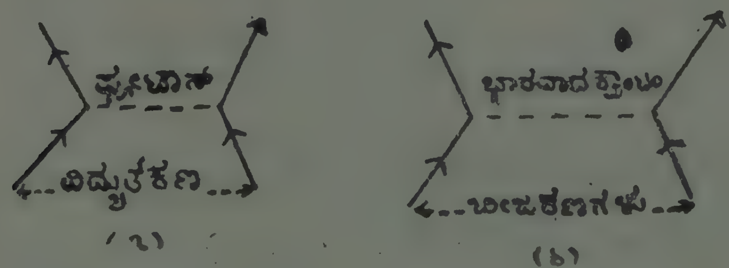
ಸೂಚಿಸುವ ಮೂರು ಬಗೆಯ ಬಲಗಳೂ ಒಂದೇ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ವಿದ್ಯುದಂಶಕ್ಕೂ ಬೀಜಬಲಕ್ಕೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವೂ ಇಲ್ಲ (charge independence of nucleon forces) ವೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು.

ಪ್ರೋಟಾನ್-ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ಉಂಟಾಗುವ ಚದರುವಿಕೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ, ಅದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್-ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ನಡುವಣ ಮಾರ್ಗ ಪರಿವರ್ತನೆ (deflection) ಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ, ಈ ತತ್ತ್ವವು ಸಮರ್ಥನೆ ಹೊಂದಿದೆ.

ಈಗ ಈ ಪರಸ್ಪರ ಬಲಗಳು ಯಾವ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಬೇಕು. ಇದರ ಸಂಬಂಧವಾಗಿ ಯುಕಾವಾ (H-Yukawa) ಎಂಬ ಜಪಾನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1935 ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಇದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಬಲಗಳ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಕೆಯ ಮೇಲೆ ರೂಪಿತವಾಯಿತು. ಒಂದು ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣದ ಸುತ್ತಲೂ ಆವರಿಸುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತ (electromagnetic) ಕ್ಷೇತ್ರವು ಏರ್ಪಡ ಬೇಕಾದರೆ, ಎರಡು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು ವರ್ಗಹೊಂದಬೇಕೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಯುಕಾವಾ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಎರಡು ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಕ್ಷೇತ್ರದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿ ಅದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಒಂದು ನವೀನ ಮಾದರಿಯ ಕಣವು ವಿನಿಮಯವಾಗಬೇಕೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಇದು ಒಂದು ಭಾರವಾದ ಕ್ವಾಂಟಂ (heavy quantum) ರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕಿಂತಲೂ ಸುಮಾರು 200 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ತೂಕದ ($200\ m_e$) ಕಣವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ತೋರಿಸ ಲಾಯಿತು. 1938 ರಲ್ಲಿ ಯುಕಾವಾ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ಕಣಕ್ಕೆ ಜೀವಿತಕಾಲವು ಸುಮಾರು 10^{-6} ಸೆಕಂಡಿರಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿಸಿದನು.

ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಹೀಗಿರುವಲ್ಲಿ 1936 ರಲ್ಲಿ ಆರಂಭವಾದ ವಿಶ್ವಕಿರಣ (cosmic rays) ಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ 1947 ರಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಿಂತ ಸುಮಾರು 270 ರಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ತೂಕದ π-ಮೆಸಾನ್ ಎಂಬ ಹೊಸ ಕಣದ ನಾಮಕರಣವಾಯಿತು. ಇದರ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದ್ದರಲ್ಲಿ ಈ ಕಣಕ್ಕೂ ಹಿಂದೆಯೇ ಯುಕಾವಾ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕಲ್ಪಿಸಿದ್ದ ಬೀಜಕ್ಷೇತ್ರ ಕಣಕ್ಕೂ ಸಮಾನತ್ವವು ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಈ ಎರಡು ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಸಮನ್ವಯಮಾಡಿದರೆ ನಮಗೆ ಒಂದು ಆದರಣೀಯವಾದ ಭಾವನೆಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಈಗ ಸಮ್ಮತವಾಗಿರುವ ಅಭಿಪ್ರಾಯವೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಇದರ ನಿರೂಪಣೆಯನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

ಒಂದೊಂದು ಬೀಜಕಣದ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಮೆಸಾನ್ ಕ್ಷೇತ್ರ (meson-field) ವಿರಬೇಕು. ಇದರ ಮೂಲಕ ಆ ಕಣವು ಮತ್ತೊಂದು ಬೀಜಕಣದ ಮೂಲಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ನೆರವೇರಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ π–ಮೆಸಾನ್ ಪಾತ್ರವು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ನಡುವೆ ವಿನಿಮಯವಾಗುವ ಫೋಟಾನ್ ಪಾತ್ರಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾಗುತ್ತದೆ ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರ 8.1 ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 8.1

ಇದನ್ನೇ ಮತ್ತೊಂದು ಮಾದರಿಯಾಗಿ ವಿವರಿಸಿದರೆ, ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ ಆಗಲಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಆಗಲಿ ನಿರಂತರವಾಗಿ ಧನ, ಋಣ ಅಥವಾ ಶೂನ (π^+, π^-, π°) ಮೆಸಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ವಿಸರ್ಜಿಸುತ್ತ ಅಥವಾ ಗ್ರಹಣಮಾಡುತ್ತ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಕಣಗಳ ಸ್ವತಂತ್ರ ಜೀವಿತ ಕಾಲವು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದು ಅವುಗಳು ಗೋಚರವಾಗದೆ ಇರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು ವಾಸ್ತವಪ್ರಾಯವಾದ (virtual) ಮೆಸಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಒಂದೊಂದು ಬೀಜಕಣ (nucleon) ದ ಸುತ್ತಲೂ ವಾಸ್ತವಪ್ರಾಯವಾದ π–ಮೆಸಾನ್‌ಗಳ ಒಂದು ಮುಸುಕು ಆವರಣ (virtual π–meson cloud) ವಿದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಬೀಜಕಣಗಳ ಅಂತರವು 1.5×10^{-13} ಸೆಂ.ಮೀ. ಒಳಗೆ ಇದ್ದರೆ, π–ಮೆಸಾನ್ ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ವಿನಿಮಯವಾಗುವ ಸಂಭವವಿದೆ.

$p \rightarrow p$ ಅಥವಾ $n \rightarrow n$ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಶೂನ್ಯ (π°) ಮೆಸಾನ್ ವಿನಿಮಯವಾಗುತ್ತದೆ.

$p \rightarrow n$ ಗಳ ನಡುವೆ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲವು ಒಂದು ಧನ (π^+) ಮೆಸಾನ್ ಮೂಲಕ ನಡೆಯುತ್ತದೆ.

$n \rightarrow p$ ಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಋಣ (π^-) ಮೆಸಾನ್ ವಿನಿಮಯವಾಗಬೇಕು. ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಅಂತರವು ಒಂದು ಮಿತಿಯನ್ನು ಮೀರಿದರೆ ಪರಸ್ಪರ ಬಲಗಳು ಅಪಕರ್ಷಕ (repulsive) ವಾಗಿಯೂ, ಆ ಮಿತಿಯೊಳಗೆ ಇದ್ದರೆ ಆಕರ್ಷಕವಾಗಿಯೂ ಇರಬಹುದಾದ ಬಲಗಳನ್ನು ವಿನಿಮಯ ಬಲ (exchange

forces) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಈ ವಿನಿಮಯವನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಬಹುದು.

$$p + p \rightarrow p^1 + \pi^\circ + p \rightarrow p^1 + p^1$$
$$n + n \rightarrow n^1 + \pi^\circ + n \rightarrow n^1 + n^1$$
$$p + n \rightarrow n^1 + \pi^+ + n \rightarrow n^1 + p^1$$
$$n + p \rightarrow p^1 + \pi^- + p \rightarrow p^1 + n^1 \qquad (8.10)$$

ಇದರಿಂದ ತಿಳಿಯಬರುವುದೇನೆಂದರೆ, ಈ ವಿನಿಮಯ ಬಲಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಒಂದರಿಂದ ಒಂದಕ್ಕೆ ರೂಪಭೇದಗಳನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತಿರುತ್ತವೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರೆಯುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ 1947 ರಲ್ಲಿ ಬರ್ಕ್‌ಲಿ ಸಂಶೋಧನಾಲಯದಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ 100 MeV ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಪ್ಯಾರಫಿನ್ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿದ್ದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಆ ಪ್ಯಾರಫಿನ್‌ನಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯೂ 100 MeV ಆಗಿದ್ದುದಾಗಿ ನಿದರ್ಶಿಸಲಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು 100 MeV ಶಕ್ತಿಯ ಮೂಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಿಸಿದ್ದರ ಫಲವಾಗಿ, ಆ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಹೊಂದಿ, ಮೂಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಗಡೆ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಂದಿರಬೇಕು.

8.4 ಬೀಜಾಂಶದ ಭದ್ರತೆ

ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನೂ ಅವುಗಳ ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನೂ ವೀಕ್ಷಿಸಿ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಮಾಡಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಸುಭದ್ರತೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಕೆಲವು ಅಂಶಗಳು ಎದ್ದುಕಾಣುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದವುಗಳನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶೆಮಾಡಬಹುದು.

(i) ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪ್ರಮಾಣ

ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ Z, ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ A ಆಗಿರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ Z ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ (A–Z) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇರಬೇಕು. ಇವುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪ್ರಮಾಣ $\frac{A-Z}{Z} = \chi$ ಆಗಿರಲಿ.

$Z = 1$ ರಿಂದ $Z = 20$ ವರೆಗೆ : $\chi = 1$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಎಂಟರಲ್ಲಿ $\chi = 1$ ಮತ್ತು ಇನ್ನು ಒಂಭತ್ತರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗಿಂತ 1 ಮಾತ್ರ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ.

$Z = 21$ ರಿಂದ $Z = 30$ ವರೆಗೆ : $\chi > 1$. ಬೀಜಾಂಶದ ಸುಭದ್ರತೆಗೆ ಇದು ಅನಿವಾರ್ಯ. $Z = 20$ರ ವರೆಗೆ $\chi = 1$ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, ಆ ಬೀಜಾಂಶ (nuclides) ಗಳೆಲ್ಲಾ ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ನಾವು ಆಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, (p–p), (n–n) ಮತ್ತು (n–p) ಬಲಗಳು ಸಮನಾಗಿರುವುದು. $\chi > 1$ ಆದರೆ, (p–p) ಗಳ ನಡುವಣ ಅಪಕರ್ಷಕ ಶಕ್ತಿಗಳು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಇದನ್ನು ಸಮತೂಗಿಸಲು n ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದರೆ ತಾನೆ ಸಾಧ್ಯ.

$Z = 30$ ರಿಂದ $Z = 82$ರ ವರೆಗೆ ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗಿಂತ ಕ್ರಮೇಣ ಹೆಚ್ಚಾದರೇನೆ ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯು ಏರ್ಪಟ್ಟು ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ ಉಂಟಾಗುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯು ಒಂದೇ ಸಮನಾದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು (ಸುಮಾರು 8 MeV) ಹೊಂದಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಗೆ $\chi > 1$ ಆಗಿ, ಇದರ ಮೌಲ್ಯವು ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತ ಕೊನೆಗೆ ಬಿಸ್ಮತ್ $_{82}Bi^{209}$ಗೆ $\chi = 1.5$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗೂ A ಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವು ಚಿತ್ರ 6.1 ರಲ್ಲಿ ಈಗಾಗಲೇ ನಿರೂಪಿತವಾಗಿದೆ.

(ii) ಸಮ–ವಿಷಮ ಸೂತ್ರಗಳು—ಯಕ್ಷಿಣಿ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು

ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ Z, (A–Z) ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಅವಲೋಕಿಸಿದರೆ, ಇವುಗಳು ಬಹು ಸಂಖ್ಯಾತ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡೂ ಸಮ

ಸಂಖ್ಯೆಗಳಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಎರಡೂ ವಿಷಮವಾಗಿರುವುದು ಕೇವಲ ನಾಲ್ಕು ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ. ಒಂದು ಸಮ ಮತ್ತೊಂದು ವಿಷಮವಾಗಿರುವುದು ಕಡಮೆ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ. ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಿಂದ ಇದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

		ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ (Z)	
		ಸಮ	ವಿಷಮ
ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ (A-Z)	ಸಮ (even)	164	50
	ವಿಷಮ (odd)	55	4

ಎರಡು ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ ಸಮವಾಗಿರುವ 164 ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆ ಹೊಂದಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಆರು ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನುಳ್ಳ ವಸ್ತುಗಳು ಭೂಮಿಯ ಚಿಪ್ಪಿನಲ್ಲಿ (earth's crust) ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು O^{16}, Mg^{24}, Si^{28}, Ca^{40}, Ti^{48}, ಮತ್ತು Fe^{56}. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮೊದಲನೆಯ ನಾಲ್ಕರಲ್ಲಿ (ಅಂದರೆ, O^{16}, Mg^{24}, Si^{28} ಮತ್ತು Ca^{40}) $\chi=1$ ಆಗಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಸಮನಾಗಿರುವುದು ಗಮನಾರ್ಹವಾದುದು. ಸಮ–ಸಮ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸುಭದ್ರತೆಯ ಕಾರಣವನ್ನು ವಲಯಗಳ ರಚನೆ (shells) ಗಳ ಆಧಾರವನ್ನಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಪೌಲಿ ನಿಯಮದ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನಾಗಿ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ನಾಲ್ಕು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ, ಜಡಾಂಶಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು 4 ರ ಗುಣಕ (multiples of 4) ಗಳಾಗಿರುವುದು (16, 24, 28 ಮತ್ತು 40) ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ಅಂಶ. ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ (ಒಂದು ಕಣಕ್ಕೆ) ಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನೂ ಗಣನೆಗೆ ತಂದುಕೊಂಡರೆ $_2He^4$, $_6C^{12}$, O^{16} ಗಳು ಮಾತ್ರ (ಚಿತ್ರ 6.1) ನಕ್ಷೆಯ ಮಿಕ್ಕ ಭಾಗಗಳಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿರುವುದು ಕಾಣುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಅವುಗಳ ಅತ್ಯಂತ ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯೇ ಕಾರಣವೆನ್ನಬಹುದು.

ಇನ್ನು ವಿಷಮ–ವಿಷಮ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ನಾಲ್ಕು ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಯಾವುವೆಂದರೆ,

$_1H^2$ .... $Z=1$, $(A\text{-}Z)=1$

$_3Li^6$ .... $Z=3$ $(A\text{-}Z)=3$

$_5B^{10}$ .... $Z=5$ $(A\text{-}Z)=5$

$_7N^{14}$ .... $Z=7$ $(A\text{-}Z)=7$.

ಇವುಗಳು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಸಾರಜನಕದಿಂದಾಚೆ ($_7N^{14}$) ಇರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಎರಡು ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ ವಿಷಮವಾಗಿದ್ದರೆ ಅವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುವು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ $A > 14$ ಇರುವ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ವಿಷಮ–ವಿಷಮ ಸೂತ್ರವು ಅನ್ವಯವಾದರೆ, ಅವುಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ β–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿ ಕ್ಷಯಿಸುತ್ತವೆ. ಮತ್ತೊಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ :– ತವರ (tin) ವನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಮಿಕ್ಕ ಯಾವ ಬೀಜಾಂಶವೇ ಆಗಲಿ, ವಿಷಮ ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ (Z odd) ಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದೇ ಆದರೆ, ಆದಕ್ಕೆ ವಿಷಮ ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (A) ಯುಳ್ಳ ಎರಡಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾದ ಸುಭದ್ರ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಇರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲ. ಈ ವಿಷಯಗಳೆಲ್ಲಕ್ಕೂ ಕಣಗಳ ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳಿಂದ (spatial co-ordinates) ಸಮರ್ಥನೆ ಪಡೆಯಬಹುದು.

(iii) ಯಕ್ಷಿಣಿ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು (Magic numbers)

ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಧಾತುಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ 20, 50 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಾಗಲಿ, ಅಥವಾ 20, 50, 82 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಾಗಲಿ ಇರುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ತವರದ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 50. ಇದರಲ್ಲಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ 10. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ A = 115, 117, 119 ಆಗಿರುವ ವಿಷಮ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಸುಭದ್ರವಾಗಿವೆ. ಮಿಕ್ಕ ಕೆಲವು ಉದಾಹರಣೆಗಳನ್ನು ಕೊಡಬಹುದು. ಇಲ್ಲಿ 20, 50 ಮತ್ತು 82 ಯಕ್ಷಿಣಿ ಸಂಖ್ಯೆಗಳೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

	ಪ್ರೋಟಾನ್	ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್
$_{20}Ca^{40}$	20	20
$_{38}Sr^{88}$	38	50
$_{40}Zr^{90}$	40	50
$_{56}Ba^{138}$	56	82
$_{82}Pb^{208}$	82	126

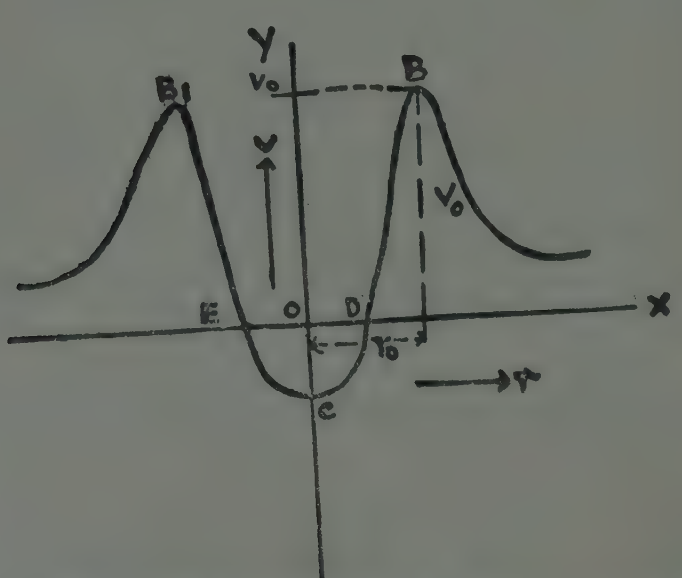
ಈ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸ್ಥಿರತೆಗೆ ಕಾರಣವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗ್ರಹಣಕ್ಕೆ ಅವುಗಳ ಅಲ್ಪ ಅಡ್ಡ ಅಳತೆ (small cross-sections) ಯೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

8.5 ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ಆಕೃತಿಗಳು (Nuclear structure models)

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಇರುವ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳಾದ ಬೀಜಾಂಶ (nucleus) ಮತ್ತು ಇದರ ಹೊರವಲಯದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ

ರಚನೆಯ ವಿನ್ಯಾಸ (outer electronic configuration) ಗಳು ಒಂದೇ ಪ್ರಮಾಣದ ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆಂದು ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಯಾವ ರೀತಿಯ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ, ಪರಮಾಣುವು ತನ್ನ ಸುಭದ್ರತೆಯನ್ನು ಕಾಪಾಡಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು ಎಂಬುದನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು. ಬೀಜಾಂಶದ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಧನರೂಪ ದಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ ಅದು ತನ್ನ ಸುತ್ತಲೂ ಆವರಿಸುವಂತೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು (electrostatic field) ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಪ್ರತಿಬಂಧಕ (potential barrier) ವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದು ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯನ್ನು ಸುರಕ್ಷಿತವಾಗಿ ಇಡಲು ಒಂದು ಕೋಟೆಯಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ವಿವರಣೆಯಿಂದ ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು.

α–ಕಿರಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನಮಗೆ ತಿಳಿಯಬರುವ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದು α–ಕಣವು ಧನವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ತನ್ನ ವೇಗದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರುವ ಚಲನಶಕ್ತಿಯಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹ ವನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ದಾಟಿ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತ ಧಾವಿಸುವಾಗ, ಅದು ಕೂಲಂಬ್ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗವಾಗುವ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿ ಅದರ ಚಲನಶಕ್ತಿಯು ಕುಂದುತ್ತ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಶಕ್ತಿ (potential energy)ಯು ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತ ಒಂದು ಉಚ್ಚ ಮಿತಿಯನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತದೆ. ಚಿತ್ರ 8.2 ರಲ್ಲಿ



ಚಿತ್ರ 8.2 ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಪ್ರತಿಬಂಧಕದ ಚಿತ್ರ (Potential barrier)

ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ α–ಕಣವು ಕೇಂದ್ರ (O) ಕ್ಕೆ r_0 ದೂರ ಇರುವಾಗ ಈ ಉಚ್ಚ ಮಿತಿಯು $BD = V_0$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ OX, OY ಅಕ್ಷಗಳಲ್ಲಿ

ಬೀಜಾಂಶದ ಕೇಂದ್ರ (O) ಬಿಂದುವಿನಿಂದ ದೂರವನ್ನು r ಎಂತಲೂ, ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು V ಎಂತಲೂ ತೋರಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಬಹಳ ದೂರದಿಂದ ($r = \infty$) α–ಕಣವು ಬೀಜಾಂಶ ಕೇಂದ್ರವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತ ಇರುವಾಗ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಶಕ್ತಿಯು AB ರೇಖೆಯು ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಏರುತ್ತದೆ. ಅದು $BD = V_0$ ಎಂಬ ಅತ್ಯಧಿಕ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತದೆ. ಆಗ ಕಣಕ್ಕೂ ಕೇಂದ್ರಕ್ಕೂ ಇರುವ ದೂರ $OD = r_0$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. α–ಕಣವು ಕೇಂದ್ರಕ್ಕೆ ಅಭಿಮುಖವಾಗಿ ಸಮೀಪಿಸಿದರೆ, ಕೂಲಂಬ್ ನಿಯಮದ ಅಪಕರ್ಷಣಕ್ಕೆ ವಿರುದ್ಧವಾಗಿ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಆಕರ್ಷಣವು ಏರ್ಪಟ್ಟು, ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಶಕ್ತಿಯು ಥಟಕ್ಕನೆ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು BC ಎಂಬ ನೇರಾಗಿ ಇಳಿಮುಖದ ರೂಪವು ನಿರೂಪಿಸುತ್ತದೆ. $r = 0$ ಆದರೆ, ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಶಕ್ತಿಯು OC ಎಂಬ ಅಧೋಮಿತಿಯನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತದೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯ ಸಮಮಿತಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಎಡ ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿರುವ ರೇಖೆಯು ಇರುತ್ತದೆ. ಇವರಿಂದಾಗಿ, ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಸುರಕ್ಷಿತವಾಗಿಡಲು BCB′ ಎಂಬ ಎತ್ತರವಾದ ಕೋಟೆಯು ಕಲ್ಪಿತವಾದಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. $BD = V_0$ ಎಂಬುದನ್ನು ಈ ಕೋಟೆಯ ಎತ್ತರವೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದ ಪ್ರದೇಶವು ಒಳಗೆ ಇರುವ ಕೂಪ (well) ದಂತಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಜ್ವಾಲಾಮುಖಿಯ ಅಂತರಾಳ (crater) ವೆಂದೂ ಎಣಿಸಬಹುದು.

ಈ ರೀತಿಯ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದ ತ್ರಿಜ್ಯ (nuclear radius) ವೆಂಬ ಪದಕ್ಕೆ ಅರ್ಥ ಸಿಕ್ಕುತ್ತದೆ. ಅದೇ $OD = r_0$. ಇದು ಒಂದು ಗಡಿಯಿದ್ದಂತೆ. ಇದರಿಂದ ಆಚೆಗೆ ಕೂಲಂಬ್ ನಿಯಮವು ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಅವರ ಒಳಗೆ ಬೇರೆ ರೀತಿಯ ಬಲಗಳು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ಈ ತ್ರಿಜ್ಯದ ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ತ್ರಿಜ್ಯಕ್ಕೂ ಬೀಜಾಂಶದ ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (mass number) ಗೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಮತ್ತು ಕೃತಕ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಗಳ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನೂ ವಿವರಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಅತಿ ಹಗುರವಾದ ಜಲ ಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ ಹಿಡಿದು ಅತಿ ಹಗುರವಾದ ಬೀಜಾಂಶ (ಯುರೇನಿಯಂ)ದ ವರೆಗೂ, ಈ ತ್ರಿಜ್ಯದ ಮೌಲ್ಯವು ಸುಮಾರು 2×10^{-13} ಸೆಂ.ಮೀ.ನಿಂದ 10×10^{-13} ಸೆಂ.ಮೀ. ವರೆಗೂ ಏರುತ್ತದೆ.

ಈಗ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿಯೇ ಅಡಗಿರುವ ಬೀಜಕಣಗಳಾದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಂಘಟಿತವಾಗಿವೆಯೆಂಬುದನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಲು ಹಲವಾರು ಆಕೃತಿಗಳು (models) ಪ್ರತಿಪಾದಿತವಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ವಾದವುಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಗಮನಿಸಬಹುದು.

(i) **ದ್ರವಬಿಂದು ಆಕೃತಿ** (Liquid drop model)

ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ಒಂದು ದ್ರವದ ಬಿಂದುವಿಗೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದೆಂದು ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸುವಂತೆ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳಿವೆ. ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಗಾತ್ರಗಳೂ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗಳೂ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಕವಾಗಿರುವ ಬೀಜಕಣಗಳ (nucleons) ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುತ್ತವೆಂಬುದು ಮುಖ್ಯವಾದ ಅಂಶ. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಬಂಧಕ ಬಲಗಳು ವಿನಿಮಯ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಸಂತುಷ್ಟ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆಯೆಂಬುದೂ ಗಮನಾರ್ಹವಾದ ವಿಷಯ. ಈ ಆಧಾರಗಳಿಂದ ಭೋರ್, ವ್ಹೀಲರ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ದ್ರವಬಿಂದುವಿನ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದ್ದಾರೆ. ದ್ರವಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಆದರ ಅಣುಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಬಂಧಕ (cohesive) ಬಲಗಳಿಗೂ, ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಬಲಗಳಿಗೂ ಸಾಮ್ಯವನ್ನು ಕಾಣಲಾಗಿದೆ. ಹೊರಗಿನಿಂದ ಒದಗಿಸುವ ಯಾವ ಶಕ್ತಿಯೇ ಆಗಲಿ ಎಲ್ಲ ಕಣಗಳಿಗೂ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನೇ ಒಂದು ಸಮಗ್ರ ವ್ಯಕ್ತಿಯೆಂದು ತಿಳಿದರೆ ಆದಕ್ಕೆ ಹಲವಾರು ಕ್ವಾಂಟಂ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಒಳಪಟ್ಟ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳು (quantum states) ಇರುತ್ತವೆ. ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೂ ಒಂದು ತ್ರಿಜ್ಯವಿದ್ದು ಅದು $A^{1/3}$ (A = ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ) ಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬದಲಾವಣೆಯಾಗುವುದರಿಂದ ಆದರ ಕ್ಷೇತ್ರ ಫಲವು $A^{2/3}$ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವೃದ್ಧಿಯಾಗಿ, ಇದಕ್ಕೂ ಒಂದು ಮೇಲ್ಮೈ ಪರಿಣಾಮ (surface effect) ವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಒಂದು ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ (W) ಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾದರೆ ನಾವು ಗಣನೆಗೆ ಅದರ ಅಂಗಗಳಾದ ಕೆಲವು ಭಾಗಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಅಂಗಗಳು ಈ ರೀತಿ ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ: (1) ಬೀಜಕಣಗಳ ಆಕರ್ಷಣ. (2) ಒಟ್ಟುಗೂಡುವಿಕೆ (composition effect). (3) ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ಅಪಕರ್ಷಣ. (4) ಮೇಲ್ಮೈ ಪರಿಣಾಮ. (5) ಬೀಜಕಣಗಳಿಗಿರುವ ಭ್ರಮಣ (spin) ದ ಪರಿಣಾಮ. (6) ಒಟ್ಟು ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ. (7) ಒಂದು ಕಣಕ್ಕೆ ಗಣನೆ ಮಾಡಬೇಕಾದ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ. ಇದನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಮುಂದಿನ ಪುಟದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಪಟ್ಟಿಯನ್ನು ಉದಾಹರಿಸಬಹುದು.

ಬೀಜಾಂಶದ ಭದ್ರತೆ, ಪರಮಾಣುವಿದಲನ, ಪರಮಾಣು ಪರಿವರ್ತನೆ ಮುಂತಾದ ಹಲವು ಸಂಭವಗಳಿಗೆ ಈ ದ್ರವಬಿಂದುವಿನ ಆಕೃತಿಯು ಸಮಂಜಸವಾದ ವಿವರಣೆ ಯನ್ನು ಕೊಡಲು ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿದೆ.

ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗಳ ಗಣನೆ (MeV ಮಾನದಲ್ಲಿ)

	$_{20}Ca^{40}$ (ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ)	(ತವರ) $_{50}Sn^{120}$	ಯುರೇನಿಯಂ $_{92}U^{238}$
1) ಬೀಜ ಕಣಗಳ ಆಕರ್ಷಣ	+560 (MeV)	+1680 (MeV)	(MeV) +3332
2) ಒಟ್ಟುಗೂಡುವಿಕೆ (n–p ಗಳ ಸಂಬಂಧದ ಪ್ರಕಾರ)	O	−64.3	−236
3) ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಅಪಕರ್ಷಣ	−68.4	−296	−799
4) ಮೇಲ್ಮೈ ಪರಿಣಾಮ	−153	−317	−501
5) ಭ್ರಮಣದ ಪರಿಣಾಮ	+3.2	+1.1	+0.5
6) ಒಟ್ಟು ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ (W)	+342	+1004	+1796
7) ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ $=\left(\frac{W}{A}\right)$	8.52	8.37	7.54

ಚಿತ್ರ 8.3

(ii) **ಬೀಜಾಂಶ ವಲಯ ಆಕೃತಿ** (Nuclear shell model)

ಮೇಲಿನ ಆಕೃತಿಗೆ ವಿರೋಧವಾದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಈ ಆಕೃತಿಯು ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡಿದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ವಿವಿಧ ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಬಲಗಳು ದುರ್ಬಲ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದು ಬೀಜಕಣವು ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ಗಣಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಬೀಜಾಂಶದ ಹೊರಗೆ ಇರುವ ವಿವಿಧ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ K, L, ... ಮುಂತಾದ ವಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿ ಒಂದೊಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ನಿಗದಿಯಾಗಿರುವ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಇರುತ್ತವೆಯೋ, ಆದರಂತೆಯೇ ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಿಗೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿರುವ ಪಥ ಆವೇಗ (orbital momentum) ವೂ ಭ್ರಮಣ ಆವೇಗ (spin momentum) ವೂ ಇರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಲಾಗಿದೆ. ಫೌಲಿ ನಿಯಮದಂತೆ ಇವುಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಕ್ವಾಂಟಾ ಸ್ಥಿತಿಗಳನ್ನು (quantum states) ರಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ತತ್ತ್ವವು ಎಲಾಸರ್, ಬಾರ್ಟ್‌ಲೆಟ್, ಷ್ಮಿಟ್ ಮುಂತಾದ ಹಲವು ಪ್ರಮುಖ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಂದ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು.

ಈ ರೀತಿಯ ವಲಯುಗಳ ರಚನೆಗೆ ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವ ಯಕ್ಷಿಣಿ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು (20, 50, 82,....) ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಕೊಡುತ್ತವೆ. ಈ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ವಿವಿಧ ವಲಯುಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಕವಾಗಿರಬಹುದಾದ ಬೀಜಕಣಗಳ (ಪ್ರೋಟಾನ್ ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್) ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪರಮಾವಧಿ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಈ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯಕ್ಕೂ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸುಭದ್ರತೆಯ ಸ್ಥಿತಿಗೂ ಸಮನ್ವಯುವು ದೊರಕುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ತತ್ತ್ವದ ಮುಖ್ಯ ಸಮರ್ಥನೆಯು ಬೀಜಾಂಶದ ಸುಭದ್ರತೆಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಬರುತ್ತದೆ.

(iii) ಮೇಲೆ ಹೇಳಿರುವ ಎರಡು ಆಕೃತಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅಂಶಗಳಿಗೆ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರಕಿರುವುದರಿಂದ, ಇವೆರಡರಲ್ಲಿಯೂ ಇರುವ ಮುಖ್ಯ ಗುಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಒಂದು ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ತತ್ತ್ವವು ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬಿದ್ದಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಬೆಂಬಲ ಕೊಡುವ ಮುಖ್ಯ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪೈಕಿ ಮೋಟಲ್‌ಸನ್ (Mottelsen) ಮತ್ತು ಅಮೆರಿಕ ದೇಶದ ಜೆ. ರೈನ್‌ವಾಟರ್ (J. Rainwater) ಗಳ ಹೆಸರನ್ನು ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಈ ಆಕೃತಿಗೆ ಸಾಮೂಹಿಕ ಆಕೃತಿ (collective model) ಎಂದು ಹೆಸರು. ಹೀಗೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಸುಭದ್ರತೆಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಸಮ–ವಿಷಮ (even-odd) ನಿಯಮಕ್ಕೂ ವಿವರಣೆ ಕೊಡಬಹುದಾಗಿದೆ.

ಈ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳಿಂದ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಯ ಪ್ರಶ್ನೆಯು ಎಷ್ಟು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದುದೆಂದೂ, ಇನ್ನೂ ನಮಗೆ ಬಗೆಹರಿಯದಿರುವ ಹಲವಾರು ಸಮಸ್ಯೆಗಳು ಪರಿಹಾರವಾಗಬೇಕೆಂದೂ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

8.6 ಬೀಜಾಂಶದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸ್ಥಿತಿಗಳು (Nuclear quantum states)

ಬೀಜಾಂಶದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α ಮತ್ತು γ– ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಕಂಡುಬಂದಿರುವ ರೋಹಿತಗಳನ್ನೂ (α–&γ–ray spectra) ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಅನ್ವಯುಸುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನೂ ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ ಬೀಜಾಂಶಗಳಲ್ಲಿಯ ಸುವ್ಯವಸ್ಥಿತವಾದ ಹಲವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸ್ಥಿತಿಗಳೂ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳೂ ಇರಬೇಕೆಂಬ ಭಾವನೆ ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ನಿಜವಾದ ಸ್ಥಿತಿಗಳ ಜೊತೆಗೆ ಕೆಲವು ಅನೈಜ (virtual) ಸ್ಥಿತಿಗಳನ್ನು ತಾತ್ಕಾಲಿಕವಾಗಿ ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಹೊರಗಣ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನವನ್ನು ಮಾಡಿ ಅವುಗಳ ಚಲನವಲನಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಕೆಲವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನೂ ನಿಯಮಗಳನ್ನೂ

ನಿಗದಿಮಾಡಿದಂತೆಯೇ ಬೀಜಾಂಶದ ಕಣಗಳಿಗೂ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬೇಕಾದ ಪ್ರಮೇಯವೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಾಮ್ಯತೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಬೀಜಕಣಗಳಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಕೂಡ ಸ್ಥಾಯಿಯಾಗಿರದೆ ತಮ್ಮದೇ ಆದ ಕೆಲವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಸುತ್ತಲು ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆಯೇ ಒಂದೊಂದು ಕಣವೂ ತನ್ನ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತಲೂ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುತ್ತಿರುವುದೆಂದೂ (spin) ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಈ ಆವಶ್ಯಕತೆಗಳನ್ನು ಪೂರೈಸಲು ಪಥ ಮತ್ತು ಭ್ರಮಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿರುವ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಿ, ಪೌಲಿ ನಿಯಮವನ್ನೂ ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕು.

ಕ್ವಾಂಟಂ ಸ್ಥಿತಿಗಳ ಆವಶ್ಯಕತೆಯಿದ್ದ ಮೇಲೆ, ಒಂದೊಂದು ಸ್ಥಿತಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳು (energy levels) ಇದ್ದೇ ಇರಬೇಕು. ಒಂದು ಮಟ್ಟದಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವಾಗ, ಅವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸದ ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣವು ವಿಕಿರಣ (radiate) ವಾಗುತ್ತದೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳಿಗೆ ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳನ್ನು ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಇವು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಿನ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ MeV ಮಾನದಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಪರಿವರ್ತನಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ತರಂಗ ದೂರಗಳು ಅತಿಶಕ್ತ x–ಕಿರಣಗಳಿಗೂ γ–ಕಿರಣಗಳಿಗೂ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತವೆ.

ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಕಾಂತ ಮೊಮೆಂಟ್ (magnetic moment) ಇದೆಯೆಂಬುದಕ್ಕೆ ಹಲವಾರು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ನಿದರ್ಶನಗಳು ಗೊತ್ತಾಗಿವೆ. ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ ಕೋನಮಾಪಿತ ಆವೇಗ (angular momentum) ವೂ ಕಾಂತ ಮೊಮೆಂಟೂ (magnetic moment) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ಭ್ರಮಣದಿಂದ ಭ್ರಮಣ ಆವೇಗ ಕಾಂತ ಮೊಮೆಂಟುಗಳನ್ನೂ ತಿಳಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೂ ಈ ಎರಡು ವಿಧವಾದ ಮೊಮೆಂಟುಗಳನ್ನೂ ಕಲ್ಪಿಸಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಬರುವ ಮೊತ್ತವು ಬೀಜಾಂಶ ಕಾಂತ ಮೊಮೆಂಟ್ (nuclear magnetic moment) ಮತ್ತು ಬೀಜಾಂಶ ಭ್ರಮಣ (nuclear spin) ಆಗುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣುಗಳ ವರ್ಣರೋಹಿತಗಳನ್ನು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಮಾಡಿದರೆ ಒಂದೊಂದು ಪ್ರಧಾನ ರೋಹಿತರೇಖೆಗೂ (main spectral line) ಹಲವು ಅತಿ ಸಮೀಪವರ್ತಿಯಾಗಿರುವ ಅಂಗರೇಖೆಗಳು ಕಾಣಬರುತ್ತವೆ. ಈ ವಿಶ್ಲೇಷಣಕ್ಕೆ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರಚನೆ (fine structure) ಯೆಂದು ಹೆಸರು. ಇವುಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನವಲನಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಶಕ್ತಿ

ಮಟ್ಟಗಳ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಬಿಸ್ಮತ್‌ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವರ್ಣರೋಹಿತಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಒಂದೊಂದು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಅಂಗರೇಖೆಗೂ ಹಲವು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಕವಲು ರೇಖೆಗಳು ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ತರಂಗದೂರವು ಅತ್ಯಂತ ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ವಿಶೇಷ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ಅಳೆಯ ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರಚನೆ (hyper-fine structure) ಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಸಮಂಜಸವಾಗಿ ಕೊಡಬೇಕಾದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದ ಮೊತ್ತ ಭ್ರಮಣ (nuclear spin) ವೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಬೀಜಾಂಶದ ಈ ಭ್ರಮಣಕ್ಕೂ ಹೊರಗಣ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮೊಮೆಂಟಿಗೂ ಉಂಟಾಗುವ ಸಂಘಟನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಫಲಿತ (resultant) ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕು. ಈ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ ತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ಸಮರ್ಥನೆ ಬಂದಿದೆ.

ಸಾಮಾನ್ಯ ಜಲಜನಕದ ಅಣುವಿನಲ್ಲಿ ಎರಡು ಭೇದಗಳನ್ನು (ortho and para hydrogen) ಗೊತ್ತುಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಬೀಜಾಂಶದ ಭ್ರಮಣದ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಮತ್ತೊಂದು ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನಾಗಿ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಜಲಜನಕದ ಅಣು (molecule) ವಿನಲ್ಲಿ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿದ್ದರೆ, ಒಂದು ಪ್ರದಕ್ಷಿಣವಾಗಿಯೂ ಮತ್ತೊಂದು ಅಪ್ರದಕ್ಷಿಣವಾಗಿಯೂ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುವ ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಒಂದೇ ಅಭಿಮುಖವಾಗಿ (parallel) ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರೆ ಅವುಗಳ ಮೊತ್ತ ಭ್ರಮಣ $\frac{1}{2}+\frac{1}{2}=1$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗಲ್ಲದೆ ಎರಡು ಪ್ರೋಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ವಿಮುಖವಾಗಿ (anti-parallel) ಭ್ರಮಣ ಮಾಡಿದಲ್ಲಿ $(\frac{1}{2}-\frac{1}{2})=0$ ಮಾತ್ರವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಎರಡು ಸಂಭವ ನೀಯತೆಗಳಿಂದಲೇ, ಆರ್ಥೋ ಮತ್ತು ಪ್ಯಾರಾ ಎಂಬ ಭೇದಗಳು ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ.

ಈ ರೀತಿಯಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಒಂದೊಂದು ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೂ ನಿಗದಿಯಾಗಿರುವ ಭ್ರಮಣ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಆವೇಗಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಸುಮಾರು ಒಂದು ನೂರು ವಿವಿಧ ಬೀಜಾಂಶ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಿಗೆ ಇಂಥ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಗಿದೆ. ಕೆಲವು ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ವಿಷಯಗಳೂ ಹೊರಬಿದ್ದಿವೆ. ವಿಷಮಸಂಖ್ಯೆಯಾಗಿರುವ ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಭ್ರಮಣ $\frac{1}{2}$ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಾಗಿವೆ. ಮತ್ತು ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಸಮ (even) ವಾಗಿದ್ದಲ್ಲಿ ಭ್ರಮಣವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿಯಾಗಲಿ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಪೂರ್ಣಾಂಕ ಮಾನಗಳಾಗಿಯೂ ಇರುವುವು. ಹೀಗಾಗ

ಬೇಕಾದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಿರುವಂತೆಯೇ $\frac{1}{2}$ ಭ್ರಮಣ ವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕು. ಈಗ $_7N^{14}$ ಬೀಜಾಂಶವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಭ್ರಮಣ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಪೂರ್ಣಾಂಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ 7 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು, 7 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇದ್ದರೆ ಸಾಧ್ಯ. ಹಿಂದೆ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಲಾಗಿದ್ದ ಪ್ರೋಟಾನ್–ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಆ ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ 14 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, 7 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳೂ ಇರಬೇಕಾಗಿತ್ತು. ಹಾಗಿದ್ದಿದ್ದರೆ ಒಟ್ಟು ಕಣಗಳು 21 (ವಿಷಮ) ವಾಗುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳ ಮೊತ್ತ ಭ್ರಮಣವು ವಿಷಮಸಂಖ್ಯೆಯಾಗಿರಬೇಕಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದು ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ವಿರೋಧವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲ ಎಂದು ಆ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕೈಬಿಡಲಾಯಿತು.

ಮತ್ತೊಂದು ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೂ, ಬೀಜಾಂಶ ಭ್ರಮಣದ ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ α–ಕಣಗಳು ಉಪ ಏಕಮಾನಗಳಾಗಿರಬಹುದು (nuclear sub-units) ಎಂದು ಭಾವಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಜಡಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು 4 ಸಂಖ್ಯೆಯ ಗುಣಕಗಳಾಗಿರುವ (multiples of four) He^4, C^{12}, O^{16}, S^{32} ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಇವುಗಳ ಮೊತ್ತ ಭ್ರಮಣವು ಶೂನ್ಯ (zero spin) ವಾಗಿರುವುದಕ್ಕೆ ಅರ್ಥವು ಸಿಕ್ಕುತ್ತದೆ. α–ಕಣಕ್ಕೆ ಭ್ರಮಣವು ಶೂನ್ಯವಾದರೆ, ಇಂಥ ಹಲವು ಕಣಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿದರೆ, ಮೊತ್ತ ಭ್ರಮಣವೂ ಶೂನ್ಯವಾಗಿಯೇ ಇರಬೇಕು.

ಬೀಜಾಂಶವನ್ನೇ ಒಂದು ಸಂಘಟಿತ ಕಣವನ್ನಾಗಿ ಭಾವಿಸಿ, ಅದರ ಮೊತ್ತ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಧನವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ಕಾಂತ ಮೊಮೆಂಟೂ ಕೂಡ ಧನ ವಾಗಿಯೇ ಇರಬೇಕು. ಆದರೆ ಕೆಲವು ಬೀಜಾಂಶಗಳಿಗೆ ಇದು ಋಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ಕಾಂತ ಮೊಮೆಂಟ್ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಮೌಲ್ಯಕ್ಕಿಂತ ಸುಮಾರು 2.78 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವಂತೆಯೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ —1.93 ಇರುವಂತೆಯೂ ಕಂಡುಹಿಡಿದಿದ್ದಾರೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಇಲ್ಲದಿರುವುದೂ, ಅದರ ಮೊಮೆಂಟು ಋಣ (negative) ವಾಗಿರುವುದೂ ಸ್ವಲ್ಪ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾಗಿಯೇ ಕಾಣುತ್ತದೆ.

ಇದುವರೆಗೂ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ತಿಳಿದಿದ್ದಾಗಿದೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ವಿವಿಧ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟಗಾತ್ರ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಅಡಕವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಅಂತರ

ದೂರಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣ (10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ.) ವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯ ಆಕರ್ಷಕ ರೂಪದ ವಿನಿಮಯ ಬಲಗಳನ್ನು (exchange forces–short range) ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಮೇಲಾಗಿ ಈ ಬೀಜಕಣಗಳು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಲೂ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುತ್ತಲೂ ಇರುವುದರಿಂದ ಬೀಜಾಂಶಕ್ಕೆ ಒಂದು ಭ್ರಮಣವನ್ನೂ ಕಾಂತ ಮೊಮೆಂಟನ್ನೂ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬೇಕಾಗಿದೆ. ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಗೊತ್ತಾಗಿವೆ. ಈ ಎಲ್ಲ ಕಲ್ಪನೆಗಳಿಗೂ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಮತ್ತು ಕೃತಕ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಹೇಗೆ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಕೊಡುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನೂ ತಿಳಿಸಿದ್ದಾಗಿದೆ.

ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರಗಳನ್ನು ವಹಿಸಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನೇ ಮೂಲಭೂತ ಕಣ (fundamental particles) ಗಳೆಂದು ಗಣನೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಆದರೂ, ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆದಿರುವ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಇನ್ನೂ ಹತ್ತಾರು ವಿಶೇಷ ಕಣಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಇವುಗಳ ವಿಚಾರವನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಲಾಗುವುದು.

ಅಧ್ಯಾಯ 9

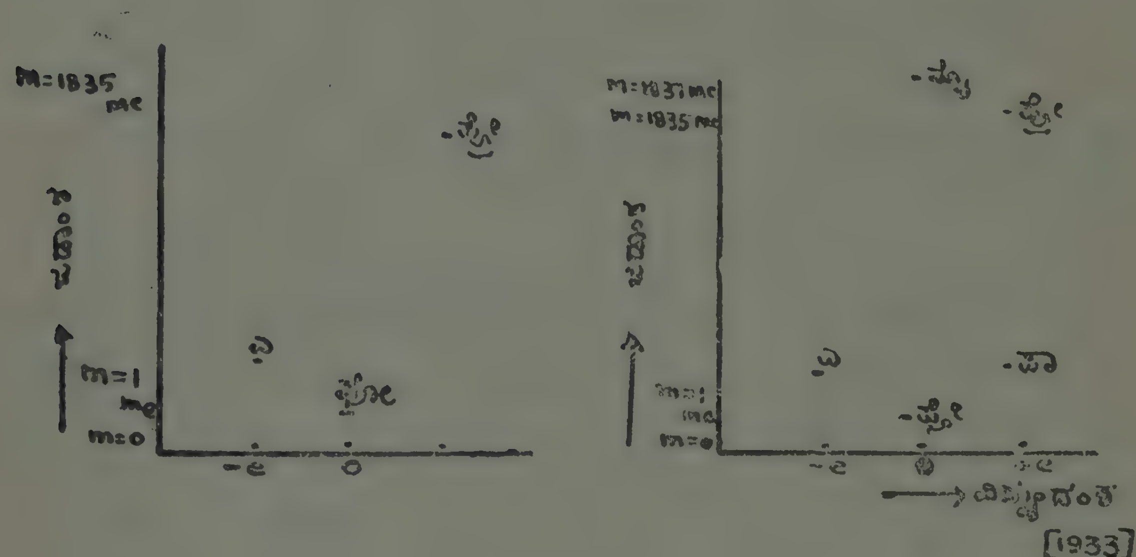
ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳು

9.1 ಮೂಲಭೂತ ಕಣ ಎಂದರೇನು ?

ಅನಾದಿಕಾಲದಿಂದಲೂ, ಎಲ್ಲ ಪದಾರ್ಥಗಳಿಗೂ ಮೂಲಕಾರಣವಾದ ಪ್ರಥಮದ್ರವ್ಯ (First Matter) ವು ಎಂತಹುದು ಎಂಬ ವಿಚಾರದ ಅನ್ವೇಷಣೆಯು ನಡೆಯುತ್ತ ಬಂದಿದೆ ಎಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ತತ್ತ್ವಶಾಸ್ತ್ರದ ಪಿತಾಮಹನೆಂದು ಕರೆಯಲಾದ ಥೇಲ್ಸ್ (Thales) ಎಂಬ ಗ್ರೀಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಪ್ರಕಾರ ಎಲ್ಲ ಪದಾರ್ಥಗಳೂ ನೀರಿನಿಂದಲೇ ಉದ್ಭವವಾಗಿರಬೇಕು. ಅವನ ನಂತರ ಕೆಲವು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ಪ್ರಥಮದ್ರವ್ಯದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು 'ವಾಯು' ವಿಗೂ, 'ತೇಜಸ್ಸಿ'ಗೂ ಕೊಟ್ಟರು. ಡೆಮಾಕ್ರಿಟಸ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಗೆ ಪ್ರಾಧಾನ್ಯವನ್ನು ಕೊಡಲಾಯಿತು. ಮೂಲಾಧಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳು 'ಪರಮಾಣು' (atoms) ಗಳೆಂದೂ ಇವುಗಳು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆಂಬುದೂ ಅವನ ಮತ.

ವಿಜ್ಞಾನ ಯುಗಕ್ಕೆ ಬಂದರೆ, ನ್ಯೂಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಹೊರಗೆಡಹಿದ ಪ್ರಕಾರ, ಪ್ರಥಮ ವಸ್ತುವು ಘನ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದು ಅದಕ್ಕೆ ಗಟ್ಟಿ (hardness) ಯಾಗಿರುವ ಲಕ್ಷಣವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದನು. ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ರಸಾಯನ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದೊಂದು ಮೂಲಭೂತವಾದ ವಸ್ತುವಿಗೂ ಅದರ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಅಭೇದ್ಯ ಪ್ರಮಾಣದ ಪರಮಾಣುವಿದೆಯೆಂದೂ ತಿಳಿಯಲಾಯಿತು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಇಂಥ ವೈಯಕ್ತಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಟ್ಟು ವಸ್ತುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಈಗ 104ಕ್ಕೆ ಏರಿದೆ. ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ನಡೆದಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೂ ಒಂದು ಸಮಾನ ರೂಪದ ರಚನೆಯಿದೆಯೆಂದೂ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣವೂ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಎಂಬ ಧನವಿದ್ಯುತ್ಕಣವೂ, ವಿವಿಧ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಗಿವೆಯೆಂದೂ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು ಬೀಜಾಂಶವಿದ್ದು ಅದರ ಹೊರಗಡೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವುವೆಂದೂ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇದೇ ಬೀಜಾಂಶ ರಚನೆಯುಳ್ಳ ಪರಮಾಣು (nuclear atom) ವಿನ ತತ್ತ್ವ. ಹೀಗಾಗಿ,

1920 ಕ್ಕೆ ಪೂರ್ವದಲ್ಲಿದ್ದ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (electron), ಪ್ರೋಟಾನ್ (proton), ಫೋಟಾನ್ (photon) ಎಂಬ ಮೂರು ಕಣಗಳು ಮೂಲಭೂತವೆಂದು ಎಣಿಸಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳ ವಿವಿಧ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ 9.1 (a) ದಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಲಾಗಿದೆ.



1920

ಚಿತ್ರ 9.1 (a) ಚಿತ್ರ 9.1 (b)

ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಆಗಿನ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಇದ್ದ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದಂತೆ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

1920

	ವಿದ್ಯುದಂಶ (e)	ಜಡಾಂಶ (m)
ಫೋಟಾನ್ (ಶಕ್ತಿಕಣ)	0	0
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್	− e	1
ಪ್ರೋಟಾನ್	+ e	1836

ಇದಾದಮೇಲೆ 1932 ರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣವು ಇರುವುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾದಮೇಲೆ, ಇದನ್ನೂ ಮತ್ತೊಂದು ಮೂಲಭೂತಕಣವೆಂದು ಗಣಿಸಬೇಕಾದ ಪ್ರಮೇಯವು ಬಂದಿತು. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಪ್ರತಿಕಣದಂತೆ (anti-electron) ವರ್ತಿಸುವ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವೂ ಈ

ಪಟ್ಟಿಗೆ ಸೇರಿತು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಜಡಾಂಶವು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು ವಿದ್ಯುದಂಶರಹಿತವಾಗಿದೆ. ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿರುವ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಇದರ ಸ್ಥಿರತೆಯ ಜೀವಿತಕಾಲವು 15 ನಿಮಿಷಗಳು ಮಾತ್ರ. ನಂತರ ಅದು ಕ್ಷಯಹೊಂದಿ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್, ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಜೊತೆಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (υ) ಎಂಬ ಹೊಸ ಕಣವೂ ಹೊರಬೀಳುವುದೆಂದು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

$$n \rightarrow p + e^- + \upsilon.$$

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ → ಪ್ರೋಟಾನ್ + ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ + ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (9.1)

ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋಗೆ, ಜಡಾಂಶ = 0, ವಿದ್ಯುದಂಶ = 0. ಭ್ರಮಣ = $\frac{1}{2}$ (ಮಾನ). ಅಂದರೆ ಫೋಟಾನ್ ಎಂಬ ದ್ಯುತಿಕಣದಂತೆಯೇ ಇದ್ದು ಭ್ರಮಣ ಸಂಖ್ಯೆ ಮಾತ್ರ ಅದಕ್ಕೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಅಂದಮೇಲೆ, ಈಗ ಆರು ಕಣಗಳು ಮೂಲಭೂತ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು e^-, e^+, p, n, γ (photon) ಮತ್ತು υ ಇವುಗಳನ್ನು 9.1 (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ:

	ವಿದ್ಯುದಂಶ (e)	ಜಡಾಂಶ
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ e^-	$-e\ (-1)$	1 (m)
ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ e^+	$+e\ (+1)$	1 (m)
ಪ್ರೋಟಾನ್ p	$+e\ (+1)$	1835 m.
ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ n	0	1837 m.
ಫೋಟಾನ್ γ	0	0
ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ υ	0	0
		[+ ಭ್ರಮಣ $\frac{1}{2}$]

ಇವುಗಳನ್ನು ಯಾವ ಕಾರಣದಿಂದ ಮೂಲಭೂತಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು ?

ಇವುಗಳಿಗೆ ಅವಿಭಾಜ್ಯತೆ ಮತ್ತು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲಾಗದಂಥ ಗುಣ (not divisible and not separable) ಗಳಿವೆಯೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಮೇಲಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ

ಜಡಾಂಶಮಾನ $m = 1 = 10^{-27}$ ಗ್ರಾಂ (ಸುಮಾರು).

ವಿದ್ಯುದಂಶಮಾನ $e = 1 = 4.8 \times 10^{-10}$ e.s.u.

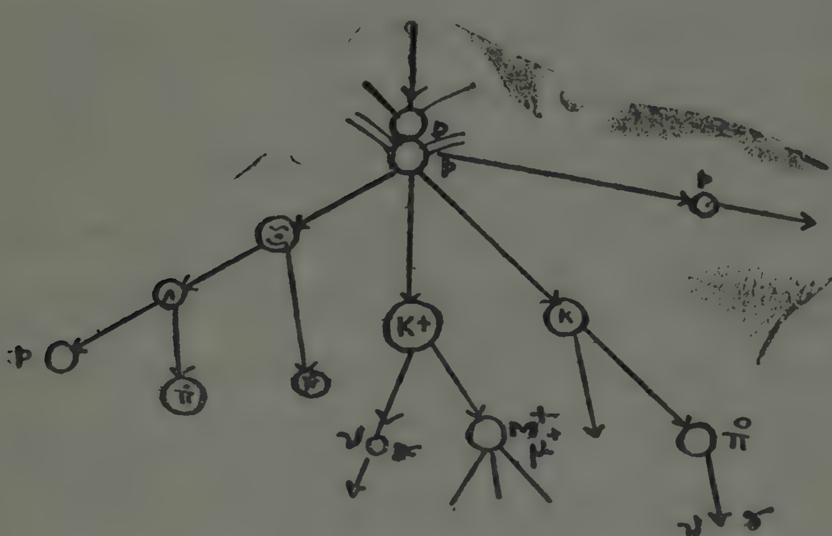
ಭ್ರಮಣಮಾನ $= \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi}$.

ಈ ಮೂರು ಗುಣಗಳೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾದ ಲಕ್ಷಣಗಳು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಈ ಕಣವು ಮಿಕ್ಕ ಕಣಗಳೊಂದಿಗೆ ಅಂತರಕ್ರಿಯೆ (inter-action) ಗಳನ್ನು ಹೊಂದುವಾಗ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಪಾತ್ರಗೊಳ್ಳುವ ವಿದ್ಯುತ್, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಮುಂತಾದ ಬಲಗಳು ವಿಶಿಷ್ಟ ರೀತಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಮೂಲಕಣವೆನ್ನಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ವೈಯಕ್ತಿಕವಾದ ವಿದ್ಯುದಂಶ, ಜಡಾಂಶ, ಭ್ರಮಣಾಂಶ (charge, mass, spin) ಗಳು ಹೊಂದಿಕೊಂಡಿರುತ್ತವೆ.

ಈ ಗಣನೆಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಕೇವಲ 15 ನಿಮಿಷಗಳ ಸ್ವತಂತ್ರ ಜೀವಿತವನ್ನು ಹೊಂದಿ ನಂತರ ಅದು ಕ್ಷಯಕ್ಕೆ (decay) ಒಳಗಾಗಿ, ಅದರಿಂದ ಬೇರೆ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂದು ತಿಳಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಈ ಕ್ಷಯವೆಂಬುದು ಮತ್ತೊಂದು ಹೊಸ ಲಕ್ಷಣವೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿರುವಂತೆ, ಹಲವಾರು ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯ ರಚನೆಯ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಾಂಶಗಳೂ ಕೃತಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ 'ಕ್ಷಯ' ಕ್ಕೆ ಗುರಿಯಾಗ ಬಲ್ಲವು.

1932 ರಿಂದ ಈಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ, ಅದರಲ್ಲಿಯೂ ವಿಶೇಷವಾಗಿ 1950—1960 ಅವಧಿಯಲ್ಲಿಯೂ, ಈಚೆಗೂ, ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳೆಂದು ಹೇಳಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಯೋಗ್ಯವಾಗುವ ಹತ್ತಾರು ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಗೊತ್ತಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ, 30, 50 ಅಥವಾ 100 ರ ವರೆಗೂ ಏರಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಇವುಗಳೆಲ್ಲಕ್ಕೂ ವಿದ್ಯುದಂಶ, ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ಭ್ರಮಣಾಂಶಗಳು ಖಚಿತವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳಲ್ಲ ಬಹುಸಂಖ್ಯೆಯ ಕಣಗಳ ಜೀವಿತಕಾಲಗಳು 10^{-6}, 10^{-12} ಸೆಕಂಡ್‌ಗಳಷ್ಟು ಕಡಮೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಸ್ಥಿರತ್ವ (stability) ವನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ಲಕ್ಷಣವೆಂದು ಗಣಿಸಲಾಗದೆಂದು ತೋರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿಧಾನಗಳು ಬೀಜಾಂಶಗಳ ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಂದ, ಮತ್ತು ಇವುಗಳ ಕ್ಷಯದಿಂದ ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಮೂಲಭೂತವಾದ ದ್ರವ್ಯವು

ಒಂದೇ ಅಥವಾ ಹಲವಾರು ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆಯೇ ಎಂಬುದನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ಹೇಳಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದೇ ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡಬಹುದು. ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದಿದರೆ, ಹಲವಾರು ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಪ್ರಪಾತದ (shower of particles) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಸ್ವರೂಪ ವನ್ನು ಚಿತ್ರ (9.2) ದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಎರಡು 'p' ಕಣಗಳು ಘರ್ಷಣೆ ಯಾದರೆ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು 'p' ಹಾಗೆಯೇ ಹೊರಬಿದ್ದು, ಇದರ ಜೊತೆಗೆ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ Ξ ಕಣವೂ, ಧನವಿದ್ಯುತ್ತಿನ 2 K ಮೆಸಾನ್‌ಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಅಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯಿಂದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸುಮಾರು 20 ಕಣಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಚಿತ್ರ (9.2) ದಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 9.2 ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯುತವಾದ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನ್ (p) ಗಳ ಸಂಘರ್ಷಣದ ಪರಿಣಾಮ

ಈ ವಿವಿಧ ಸ್ವರೂಪದ ಕಣಗಳನ್ನೂ ವಿಶೇಷವಾದ ಯಂತ್ರಸಾಧನಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಗುರುತಿಸಿ ಅವುಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿರುವ ಮೇಘಮಂದಿರ, (cloud chamber), ಗೈಗರ್ ಗಣಕ (Geiger–Muller counter), ಫೋಟೋಗ್ರಾಫ್ ವಿಧಾನ (emulsion method), ಬುದ್ಬುದ ಆಲಯದ ಯಂತ್ರ (bubble chamber) ಸಾಧನಗಳು ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದುವು. ಈ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಸಾಧನಗಳೂ ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿದ್ದು, ಬೃಹತ್ ಪ್ರಮಾಣದ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಧ್ಯೇಯವೇನೆಂದರೆ, ಆ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ಅತ್ಯಗಾಧ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಒದಗಿಸಿಕೊಡುವುದೇ ಆಗಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಮಾದರಿಗಳನ್ನು

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಸ್ತಾವಿಸಲಾಗಿದೆ. ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ (cyclotron), ಬೀವಾಟ್ರಾನ್ (beva-tron), ರೇಖಾತ್ಮಕ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ (linear accelerator) ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖವಾದುವು.

ಈಗ ಈ ಹಲವಾರು ಬಗೆಯ ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

9.2 ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್, ಆಂಟಿಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಆಂಟಿನ್ಯೂಟ್ರಾನ್

ಈ ಶತಮಾನದ ಆದಿ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಖಚಿತವಾಗಿ ಗೊತ್ತಾದಮೇಲೆ, ಇದೇ ಜಡಾಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಮಾತ್ರ ಧನವಾಗಿರುವ ಕಣವು ಇರಬಹುದೇ ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಗೆ ಉತ್ತರವು ಯಾವ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದಲೂ ಬರಲಿಲ್ಲ. ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಒಂದು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವಿದ್ದರೂ, ಅದರ ಜಡಾಂಶವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಿಂತ ಸುಮಾರು 1835 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಪ್ರತಿರೂಪವಾದ ಕಣದಂತೆ ಭಾವಿಸಲಾಗಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, 1930 ರಲ್ಲಿ ಬ್ರಿಟಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಡೈರಾಕ್ (Dirac) ಮಾತ್ರ ಕೇವಲ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ತರ್ಕಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿಯೂ ಜಡಾಂಶದಲ್ಲಿಯೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನಂತೆಯೇ ಇದ್ದು ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಋಣವಾಗಿರುವುದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಧನವಾಗಿರುವ ಕಣವು ಇದ್ದೇ ಇರಬೇಕೆಂದು ಸಾಧಿಸಿದನು. ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಿಗೆ ಎರಡು ಭಿನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿ ಸ್ಥಿತಿ (energy states) ಗಳಿರಬೇಕೆಂದೂ ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಆಕ್ರಮಿಸದೆ ಇದ್ದರೆ ಅದನ್ನು ಒಂದು ರಂಧ್ರದಂತೆ (hole or vacancy) ಭಾವಿಸಬೇಕೆಂದೂ, ಈ ಖಾಲಿ ಸ್ಥಾನವು ಧನಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿನಂತೆ ವರ್ತಿಸುವುದಾಗಿ ಭಾವಿಸಬಹುದೆಂದೂ ಡೈರಾಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಮತ. ಇದು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣವಾಗಿರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲವೆಂದೂ ಆತನು ತಿಳಿಸಿದನು. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ ಆ ಖಾಲಿ ಜಾಗವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸುವ ಕಣಕ್ಕೆ ಅತಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಆಯುಸ್ಸಿರಬೇಕೆಂದೂ ತೋರಿಸಿದನು.

ಡೈರಾಕ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಅಂದರೆ 1932 ರಲ್ಲಿ ಆಂಡರ್‌ಸನ್ (Anderson) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರಕಿತು. ಅವನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತಿದ್ದ ತುಂತುರು ಆಲಯದ ಉಪಕರಣದಿಂದ

ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದ ಕಣಗಳ ಪಥಗಳ ಚಿತ್ರಗಳು ತೆಗೆಯಲ್ಪಟ್ಟವು. ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತದ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖದ ಬಾಗುವಿಕೆಗೆ ಒಳಗಾದ ಕಣಗಳ ಚಿತ್ರಗಳಿಂದ, ಆ ಕಣಗಳಿಗೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿನಂತೆಯೇ ಜಡಾಂಶವೂ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರಮಾಣವೂ ಇದ್ದು ಆದರೆ ಮಾತ್ರ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುವ ಮತ್ತೊಂದು ಕಣ ವಿರುವುದು ಖಚಿತವಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಡೈರಾಕ್ ಊಹಿಸಿದ್ದ ಧನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಂತಾಯುತು. ಈ ಕಣಕ್ಕೆ ಆಂಡರ್‌ಸನ್ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಎಂದು ಹೆಸರಿಟ್ಟನು. ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ – ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಜೋಡಿ ಗಳಿಗೆ (positron–electron pairs) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪಥದ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದ ಮೇಲೆ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಪ್ರತಿರೂಪವಾದ ಕಣವೆಂಬುದು (e^+) ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಹಲವಾರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಈ ಎರಡು ಕಣಗಳನ್ನೂ ಜೋಡಿಯಾಗಿ ಉತ್ಪಾದಿಸಬಹುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಬೆರಿಲಿಯಂ ಧಾತುವನ್ನು α–ಕಣಗಳ ಸಂಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸುವುದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸೀಸ ಲೋಹದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ (e^+ ಮತ್ತು e^-) ಜೋಡಿಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದು ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಆಂಡರ್‌ಸನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಸಂಶೋಧನೆ ಗಳಿಂದ Thc″ ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ γ–ಕಿರಣಗಳು ಕೂಡ ಇಂಥ ಜೋಡಿ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಬಲ್ಲವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಜೀವಿತಾವಧಿ ಸುಮಾರು 10^{-9} ಸೆಕಂಡಿನಷ್ಟು ಅತ್ಯಲ್ಪ ವಾಗಿರುವುದೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದಲೇ ಬಹಳ ಕಾಲದವರೆಗೆ ಇದು ಗೋಚರವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಸಂಧಿಸಿ ಈ ಘರ್ಷಣೆಯ ಫಲವಾಗಿ ಆ ಎರಡು ಕಣಗಳೂ ನಾಶಹೊಂದಿ ಆದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಸಮಾನ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆಂದು ಪ್ರಯೋಗಗಳು ತೋರಿಸುತ್ತವೆ. ಇದು ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಜಡಾಂಶ–ಶಕ್ತಿ ಸಮಾನತ್ವದ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸುವ ನಿದರ್ಶನವಾಗಿದೆ. ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಜಡಾಂಶವು 9.1×10^{-28} ಗ್ರಾಂ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ಸಮಾನಶಕ್ತಿಯು $[E=mc^2]$ $\{9.1 \times 10^{-28} \times 9 \times 10^{20}\}$ ಎರ್ಗ್‌ಗಳು ಅಥವಾ 0.51 MeV ಮಾನವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದೇ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿದರೆ, ದ್ರವ್ಯನಾಶವಾಗಿ 1.02 MeV ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗಿ ಇದು γ–ಕಿರಣಗಳ ಫೋಟಾನ್ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ Thc″ ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ γ–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 2.62 MeV ಆಗಿದ್ದು, ಇವುಗಳು ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ

ಪ್ರಯೋಗವಾದರೆ, ಈ ಶಕ್ತಿಗ್ರಹಣದಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್–ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಜೋಡಿಯು ಹೊರ ಬೀಳಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಮೂಲಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವಾದ 1.02 MeV ಶಕ್ತಿಯು ಕಣರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿದರೆ, ಆ ಜೋಡಿ ಕಣಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಶಕ್ತಿಯು ಪರಿವರ್ತನೆಯಿಂದ ಈ ಕಣಗಳು ಉದ್ಭವಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಮೂಲಶಕ್ತಿಯು 1.02 MeV ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಸಾಧ್ಯ. ಹೀಗಾಗಿ, ಶಕ್ತಿನಾಶದಿಂದ ದ್ರವ್ಯರೂಪದ ಕಣಗಳು ಹೇಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಯೋ, ಹಾಗೆಯೇ ಕಣಗಳ ಒಟ್ಟುಗೂಡುವಿಕೆಯಿಂದ ದ್ರವ್ಯನಾಶವಾಗಿ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆಂದು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಖಚಿತವಾದ ಹಾಗಾಯಿತು.

ಡೈರಾಕ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರತಿಕಣ (anti-particle) ವು ಇರುವಂತೆಯೇ, ಮಿಕ್ಕ ಎಲ್ಲ ಕಣಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗಬೇಕಾದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗೆ ಅವಕಾಶವಿರಬೇಕೆಂದು ಭಾವನೆಯಿದ್ದಿತು. ಅಂದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೂ ಒಂದು ಪ್ರತಿಕಣವು (anti-proton) ಇದ್ದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್–ಪ್ರತಿಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಜೋಡಿಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ಈ ದ್ರವ್ಯರೂಪಕ್ಕೆ ಬೇಕಾಗುವ ಮೂಲಶಕ್ತಿಯು ಅತ್ಯಗಾಧವಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೆ ಸಮಾನಶಕ್ತಿಯು 931 MeV ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಮೂಲಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು $2 \times 931 = 1862$ MeV ಆದರೂ ಇರಬೇಕು.

1955 ಕ್ಕಿಂತ ಹಿಂದೆ ಇಂಥ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಂದ ಮಾತ್ರ ಪಡೆಯಬಹುದಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ ಆ ವರ್ಷದಲ್ಲಿ ಬರ್ಕ್‌ಲಿ ಸಂಶೋಧನಾಲಯದಲ್ಲಿ ಬೀವಾಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ನಿಯಮಿತ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳಿಗೆ ಒದಗಿಸಲು ಅವಕಾಶವಾಯಿತು. ಚಾಂಬರ್ಲೈನ್ (Chamberlain), ಸೆಗ್ರೆ (Segre) ಅವರ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪರಿಶ್ರಮದಿಂದ ಪ್ರತಿಪ್ರೋಟಾನ್ (anti-protons) ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿದ್ದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಅವುಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನು ದೃಢಪಡಿಸಿದರು. ಬೀವಾಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ತಾಮ್ರದ ತುಂಡಿನ (copper block) ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆಮಾಡಿಸಿ, ಈ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಕಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದ್ದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ತೂಕವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಅದೇ ಪ್ರಮಾಣದ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶ (–e) ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಈ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳ ವೇಗವು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದ 80% (ಸೆಕಂಡಿಗೆ 148,000 ಮೈಲಿಗಳು) ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು

ಪರಿಶೀಲಿಸಿ ಗುರುತಿಸಲು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಕಾಲನಿರ್ಣಯ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ರಚಿಸ ಬೇಕಾಯಿತು. ಇದು ಎಷ್ಟು ಸೂಕ್ಷ್ಮವೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ – ಆ ಕಣಗಳು ಈ ವೇಗದಿಂದ 40 ಅಡಿಗಳ ದೂರ ಚಲಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಕಾಲವು 51×10^{-9} ಸೆಕೆಂಡಾಗಿದ್ದಿತು.

ಈ ಕಣಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನು ನಿಶ್ಚಯಮಾಡಲು ಮತ್ತೊಂದು ಪ್ರಯೋಗ ವನ್ನು ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹದ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಗಾಜಿನ ತುಂಡನ್ನು ಇಟ್ಟು ಆ ಕಣಗಳು ಗಾಜಿನಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಣೆಮಾಡಿ, ಆ ದ್ರವ್ಯ ನಾಶದಿಂದ (annihilation energy) ಉದ್ಭವವಾಗುವ ದ್ಯುತಿರೂಪದ ಶಕ್ತಿ (emission of light) ಯು ವಿಕಿರಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸೆರೆನ್‌ಕೋವ್ (Cerenkov) ವಿಕಿರಣವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಗೆ ಪ್ರೋಟಾನ್–ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಜೋಡಿ ಕಣಗಳ ನಾಶದಿಂದ ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯೇ ಕಾರಣವೆಂದೂ ಗೊತ್ತು ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಛಾಯಾಚಿತ್ರದ ತಟ್ಟೆಗಳಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಗಳ ಮೂಲಕವೂ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಪಡೆಯಲಾಯಿತು.

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೇಗೆ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು ಎಂಬುದನ್ನು ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ (Chadwick) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಅಧಿಕವಾದ ಜಡಾಂಶ ವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣವೇ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂದು ಖಚಿತವಾಯಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಇಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ ಅಣುಗಳನ್ನು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸುವ ಶಕ್ತಿ ಇಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಸರಾಗವಾಗಿ ಒಳಹೊಗುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿದೆ. ಡೈರಾಕ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದೊಂದು ಮೂಲಕಣಕ್ಕೂ ಒಂದು ಪ್ರತಿಕಣವಿದ್ದೇ ಇರಬೇಕಾದರೆ, ಅವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ವಿರೋಧ ಚಿಹ್ನೆ (opposite signs) ಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಎಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವೇ ಇಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ಪ್ರತಿಕಣದ (anti-neutrons) ಲಕ್ಷಣವು ಹೇಗಿರಬೇಕು ಎಂಬುದು ಅರ್ಥವಾಗಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲ. ಆದರೂ, 1956 ರ ಸೆಪ್ಟೆಂಬರಿನಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಕ್ (Cork), ಲ್ಯಾಂಬರ್‌ಟನ್ (Lamberton) ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪರಿಶ್ರಮದಿಂದ ಅಂಥ ಒಂದು ಕಣವು ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವೂ, ಅದರ ಪ್ರತಿಕಣವೂ ನೇರಾಗಿ ಘರ್ಷದೆ ಹೊಂದದೆ, ಅತಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಧನಕಣದಿಂದ ಋಣಕಣಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಚಲಿಸುವ (transferred) ಸಂಭವವಿದೆಯೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಎರಡು ಕಣಗಳೂ ವಿದ್ಯುದ್ರಹಿತವಾಗುತ್ತವೆ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಗಿಯೂ, ಪ್ರತಿಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ಪ್ರತಿನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಗಿಯೂ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಬೇಕು.

$$\text{ಪ್ರೋಟಾನ್} + \text{ಪ್ರತಿಪ್ರೋಟಾನ್} \rightarrow \text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್} + \text{ಪ್ರತಿನ್ಯೂಟ್ರಾನ್} \quad (9.2)$$

ಈ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಬೆಂಬಲವನ್ನು ಬೀವಾಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ದ್ರವರೂಪದ ಜಲಜನಕ (liquid hydrogen) ದ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿದ ಪ್ರಯೋಗದ ಪರಿಣಾಮವು ತೋರಿಸಿತು. ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ತಂಡವಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಜಲಜನಕದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ಸಮೀಪ ಸಂಪರ್ಕ ದಿಂದ ಪ್ರತಿನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿದುವೆಂದು ಅರ್ಥ ಬರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸಮರ್ಥನೆಮಾಡಲು ಈ ಪ್ರತಿನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿ ತತ್ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಉದ್ಭವಿಸಿದ ಜ್ಯೋತಿಯ ಸ್ಫುರಣ (scintillation) ವನ್ನು ಗ್ರಾಹಕಗಳಿಂದ ಗುರುತಿಸಲಾಯಿತು.

ಪ್ರತಿನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೂ ವಿದ್ಯುದಂಶವೇ ಇಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳಿಗಿರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಕಾಂತತೆಯ ಲಕ್ಷಣ (magnetic properties) ಗಳಿಂದ ಕಾಣಬೇಕು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಾಂತದಂತೆ ವರ್ತಿಸಿದರೆ, ಪ್ರತಿನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಭ್ರಮಣಮಾಡುವ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುವ ಕಾಂತವೆಂದು ಗಣನೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದೇ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಈ ಎರಡು ಕಣಗಳೂ ಭ್ರಮಣಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ ಗಳು ವಿರೋಧ ನೇರಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

9.3 ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ಹೈಪರಾನ್‌ಗಳು

ಇದುವರೆಗೂ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ಮೂಲಕಣಗಳ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರುವ ಮೆಸಾನ್ ಗಳನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳು m_e ಆದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಪ್ರತಿ ಕಣಗಳ ಜಡಾಂಶಗಳು ಸುಮಾರು 1840 m_e ಅಗಬೇಕು.

ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ಮಧ್ಯಸ್ಥ ಜಡಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಹಲವು ಬಗೆಯ ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಇರುವುದಕ್ಕೆ ಆಧಾರವು ಸಿಕ್ಕಿದೆ. ಈ ಕಣಗಳನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಮೆಸಾನ್ (mesons) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ L ಮತ್ತು K ಎಂಬ ಎರಡು ಗುಂಪುಗಳಿದ್ದು; ಅವುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ವಿವಿಧ ತೂಕಗಳ ಕಣಗಳೂ, ಧನ, ಋಣ ಮತ್ತು ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ.

L ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು [ಹಗುರ–(light)] 1 ರಿಂದ 283 m_e (π ಮತ್ತು μ)

K ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು (ಭಾರವಾದುವು) 283 ರಿಂದ 1836 m_e (τ, θ, κ)

Y ಹೈಪರಾನ್‌ಗಳು (ಅತಿ ಭಾರವಾದುವು) 1836 ರಿಂದ 3670 m_e

($\wedge, \sum$ ಮತ್ತು Ξ)

ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾಗಿರುವ ಹಲವು ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಈ ಎಲ್ಲ ಕಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಗಿದೆ.

ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದ ಅಂತರಾಳದಿಂದ ಭೂಮಿಯ ವಾಯುಮಂಡಲವನ್ನು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶಮಾಡುವ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು ಪ್ರಧಾನವಾಗಿ (primary radiation) ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 10^{11} MeV ವರೆಗೆ ಇರಬಹುದು. ಇವುಗಳು ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿರುವ ಆಮ್ಲಜನಕ ಮತ್ತು ಸಾರಜನಕದ ಬೀಜಾಂಶಗಳನ್ನು ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವುದರ ಫಲವಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, ಮೆಸಾನ್‌ಗಳೂ ಹೊರಬಿದ್ದು ಇವುಗಳನ್ನು ಛಾಯಾಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಂತೆ ಗುರುತಿಸಬಹುದು. ಈ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳಿಗೆ π ಮೆಸಾನ್ ಗಳೆಂದು ಹೆಸರಿದ್ದು ಅವುಗಳ ತೂಕವು ಸುಮಾರು 270m_e ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರಕಾರ π^+, π^-, ಮತ್ತು π^0 ಎಂದು ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ π^+ ಮತ್ತು π^- ಕಣಗಳು ವಸ್ತುವಿನ ಬೀಜಾಂಶಗಳೊಡನೆ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ ಕಡಮೆ ತೂಕದ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ತೂಕಗಳು ಸುಮಾರು 206 m_e ಆಗಿದ್ದು ಅವುಗಳನ್ನು μ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ (μ^+, μ^-). π ಮೆಸಾನ್‌ಗಳ ಕ್ಷಯದ ಕ್ರಿಯೆಯು ಕೆಳಗಿನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿರಬಹುದು :

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu \text{ (ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ)}$$

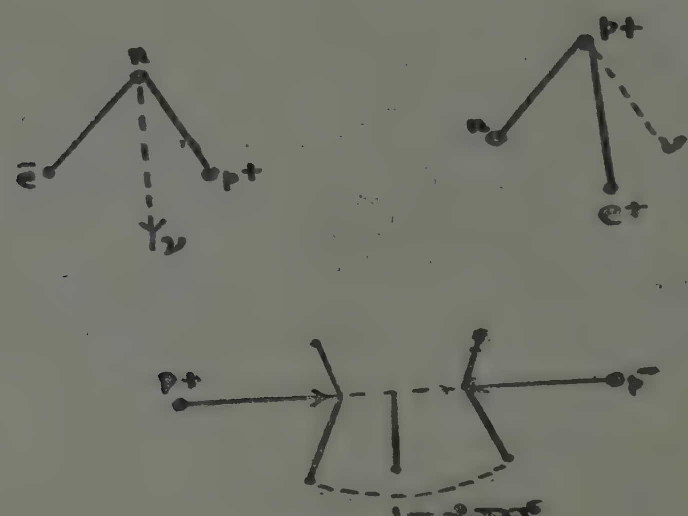
$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu \quad \text{,,} \qquad (9.3)$$

ಇವುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ :

$$\pi^+ \text{ ಮತ್ತು } \pi^- \; 2.5 \times 10^{-8} \text{ ಸೆಕಂಡ್}$$

$$\pi^\circ \; 10^{-14} \text{ ಸೆಕಂಡ್} \qquad (9.4)$$

ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಕೃತಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಮೆಸಾನ್ ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಿದ್ದು 1948 ರಲ್ಲಿ. ಗಾರ್ಡ್‌ನರ್ (Gardner), ಲಾಟ್ಟೆಸ್ (Lattes) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಸಿಂಕ್ರೋ ಸೈಕ್ಲಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ 380 MeV ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ α–ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನು, ಇಂಗಾಲ, ಬೆರಿಲಿಯಂ, ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಲಕ್ಷ್ಯ (targets) ಗಳನ್ನಾಗಿಟ್ಟು ಅವುಗಳ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದರು. ಈ ಬೀಜಾಂಶ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಹೊರಬಿದ್ದ ಕಿರಣಗಳ ಪಥದ್ಯೋತಕ ಛಾಯಾಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ವಿಶ್ಲೇಷಣದಿಂದ ಅವುಗಳು ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ (π^-) π ಮೆಸಾನ್‌ಗಳಿರಬೇಕೆಂದು ನಿದರ್ಶಿಸಲಾಯಿತು. ಹೀಗೆಯೇ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುಗಳ ಸ್ಥಾನಭೇದದಿಂದ π^+ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ ಗುರುತು ಮಾಡಲಾಯಿತು. 1950 ರಲ್ಲಿ 175 MeV ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಇಂಗಾಲ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿ, ಆ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು ಕ್ಷಯಹೊಂದಿ ಎರಡು ಫೋಟಾನ್‌ಗಳಾಗಿ ಹೊರಬಿದ್ದುದಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಒಂದೊಂದು ಫೋಟಾನ್ ಶಕ್ತಿಯೂ 70 MeV ಎಂದು ಗೊತ್ತಾದುದರಿಂದ ಇವುಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾದ π° ಮೆಸಾನ್ ತೂಕವು ಸುಮಾರು 280 m_e ಎಂದು ಊಹಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಕಣಗಳ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರ (9.3) ದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಕ್ಷಯದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಿರಣಗಳ



ಚಿತ್ರ 9.3

ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಚಿತ್ರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಹಾಗೂ, ಪ್ರೋಟಾನ್ p^+ ಮತ್ತು ಆಂಟಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ p^- ಕಣಗಳ ಸಂಘರ್ಷಣದಿಂದ 5 π ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವುದನ್ನೂ ತೋರಿಸಿದೆ.

1947 ರಲ್ಲಿ ರಾಚಸ್ಟರ್ (Rochester), ಬಟ್ಲರ್ (Butler) ಎಂಬ ಬ್ರಿಟಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ತೆಗೆದ ಮೇಘ ಮಂದಿರ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಪಥಜ್ಯೋತಕಗಳಲ್ಲಿ (particle tracks) ಕೆಲವು V ಮಾದರಿಯ ಶಾಖೆಯು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇದಕ್ಕೆ 1000 m_e ತೂಕದ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕಣಗಳೇ ಕಾರಣವೆಂದೂ ಇದರ ಕ್ಷಯದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಒಂದು π ಮೆಸಾನ್ ಮತ್ತೊಂದು ಶಾಖೆಯೆಂದೂ ಆ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಊಹಿಸಿದರು. ಹೀಗೆಯೇ ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಚಿತ್ರಗಳ ವೀಕ್ಷಣೆಯಿಂದ 700 m_e ಮತ್ತು 1200 m_e ತೂಕಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವಿರಬೇಕೆಂದು ನಿಶ್ಚಯ ಮಾಡಿದರು. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ನಿದರ್ಶಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಅತಿ ಭಾರವಾದ ಕಣಗಳಿಗೆ K ಮೆಸಾನ್‌ಗಳೆಂದು ನಾಮಕರಣಮಾಡಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಕೆಲವಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿದ್ದು ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ವಿದ್ಯುದ್ರಹಿತವಾಗಿಯೂ ಇರುವುದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ 1953 ರಲ್ಲಿ ಬೀವಾಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ 2 BeV ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ತಾಮ್ರದಂಥ ಭಾರವಾದ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ K–ಮೆಸಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಕೃತಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದಲೂ ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಈ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು ಹೆಚ್ಚು ತೂಕವನ್ನು ಹೊಂದಿ π ಮೆಸಾನ್‌ಗೂ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೂ ನಡುವೆ (283 ರಿಂದ 1836 m_e) ಇರುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ತೂಕದ ಮತ್ತು ಅವಕ್ಕೂ ಡ್ಯೂಟರಾನ್‌ಗೂ ಮಧ್ಯೆ ಇರುವ ತೂಕಗಳನ್ನು (1836 ರಿಂದ 3670 m_e) ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅಧಿಕ ತೂಕ ಕಣಗಳು (Hyperons-Y) ಎಂದು ಹೆಸರು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಲ್ಯಾಂಬ್ಡ (Λ), ಸಿಗ್ಮ (Σ) ಮತ್ತು ಕ್ಸೈ (Ξ) ಎಂಬ ಸಂಕೇತಗಳನ್ನು ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

L ಮೆಸಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಐದು ಭೇದಗಳೂ K ಮೆಸಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ನಾಲ್ಕು ಗುಂಪುಗಳೂ ಇವೆಯೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿದೆ. ಮೂರು ಪೈಯಾನ್‌ಗಳೂ, (π^+, π^-, π^0) ಎರಡು ಮ್ಯೂಯಾನ್‌ಗಳೂ (μ^+, μ^-) ಇವೆ. ಇವುಗಳಿಗೆ ಭ್ರಮಣಾಂಶ (spin) ಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಕ್ಷಯದ ರೀತಿ (decay) ಯಲ್ಲಿಯೂ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿರುತ್ತವೆ.

K ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು ಬೀಜಾಂಶ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ (nucleon-nucleon interactions) ನಡೆಯುವ ಅಂತರಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂದು

ತಿಳಿಯುಬಹುದು. ಹೈಪರಾನ್ (Y) ಗಳಿಗೆ ಭ್ರಮಣಾಂಶವು $\frac{1}{2}$ ಆಗಿದ್ದು, ಇವುಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿಗೆ ಕಾರಣವು K^- ಅಥವಾ L^- ಮೆಸಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೂ ನಡುವೆ ಉಂಟಾಗುವ ಅಂತರಕ್ರಿಯೆಗಳೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

ಈ ವಿವಿಧ ಮೂಲಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕೆಲವು ಅಂಶಗಳನ್ನು ಕ್ರೋಢೀಕರಿಸಿ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ (ಚಿತ್ರ 9.4) ನಿರೂಪಿಸಲಾಗಿದೆ.

9.4 ವಿಚಿತ್ರತೆ (Strangeness) ಮತ್ತು ಅನುರೂಪತೆ (Parity) ತತ್ತ್ವ

ಹೈಪರಾನ್ ಕಣವು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾದಾಗಲೆಲ್ಲಾ ಅದರ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು K ಮೆಸಾನ್ ಕೂಡ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿ ಈ ಸಂಭವಕ್ಕೆ 'ಸಂಬಂಧ ಉತ್ಪತ್ತಿ' (associated production) ಎಂದು ಹೆಸರು. ಇಂಥ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಬೇರೆ ಒಂದು ಹೊಸ ಮಾದರಿಯ ನಿತ್ಯತೆಯ ತತ್ತ್ವವು (conservation principle) ಇರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸಲಾಯಿತು. ಗೆಲ್‌ಮಾನ್ (Gell-mann), ನಿಷಿಜೀಮ (Nishijima) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿದ್ದಾರೆ. ಇದು ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೂ, ಮೆಸಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ಹೈಪರಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗಿ, ಅದಕ್ಕೆ 'ವೈಚಿತ್ರ್ಯ ಸಂಖ್ಯೆ' (strangeness number) ಎಂದು ಹೆಸರು.

ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಸೂತ್ರವಿದೆ.

ವೈಚಿತ್ರ್ಯ ಸಂಖ್ಯೆ (S) = 2 {ವಿದ್ಯುದಂಶ–ಬೀಜಾಂಶದ ಭ್ರಮಣಸಂಖ್ಯೆ} —ಬೀಜಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ

ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಭ್ರಮಣಸಂಖ್ಯೆ $= +\frac{1}{2}$; ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ $= -\frac{1}{2}$.

Σ^+ ಹೈಪರಾನ್ ಕಣದ ವೈಚಿತ್ರ್ಯ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

ಇದರಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುದಂಶ = 1; ಭ್ರಮಣ = 1; ಬೀಜಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ = 1.

ಆದ್ದರಿಂದ $S = 2\{1 - 1\} - 1 = 1$.

ಈ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ K^+, K° ಗಳಿಗೆ $S = 1$.

$p, n, \pi^+, \pi^-, \pi^\circ - S = 0$. ಇತ್ಯಾದಿ.

ಇವುಗಳನ್ನೂ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿದೆ.

ಈ ವಿಚಿತ್ರ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಸಂಭವಿಸುವ ಅಂತರಕ್ರಿಯೆಗಳು ಪ್ರಬಲ ಕ್ರಿಯೆ (strong interactions) ಗಳಾದರೆ,–ಅಂದರೆ, ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಗಳು ಇದ್ದು ಕ್ರಿಯೆಯ ಕಾಲಾವಧಿಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ (ಎಂದರೆ 10^{-22} ಸೆಕಂಡ್) ವಾಗಿದ್ದಲ್ಲಿ—ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ವಿಚಿತ್ರ ಸಂಖ್ಯೆಯು ನಿತ್ಯತೆಯ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದು π^- ಮತ್ತು p^* ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಅಂತರ ಕ್ರಿಯೆಗಳು 10^{-10} ಸೆಕಂಡ್ ಪ್ರಮಾಣದ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆದರೆ, ಅವುಗಳನ್ನು ದುರ್ಬಲ (weak) ಕ್ರಿಯೆಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. (K) ಮೆಸಾನ್ ಮತ್ತು ಹೈಪರಾನ್ ಕ್ಷಯಗಳಿಗೆ ಇದು ಸಂಬಂಧಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ವಿಚಿತ್ರ ಸಂಖ್ಯೆ (S) ಯು ನಿತ್ಯತ್ವ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸದೆ, ಅದು $+ 1$ ಅಥವಾ $- 1$ ಬದಲಾವಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವಿಚಿತ್ರ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡುವುದರಿಂದ ಈ ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಅಂತರಾರ್ಥವು ಗೊತ್ತಾದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಮತ್ತೊಂದು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವವನ್ನು 1956 ರಲ್ಲಿ ಲೀ (Lee), ಯಾಂಗ್ (Yang) ಎಂಬ ಚೀನಾ ದೇಶದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅಮೆರಿಕಾ ಸಂಶೋಧನಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಹೊರಗೆಡಹಿದರು. ಇದು ಅನುರೂಪತೆಯ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ (parity principle) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ತರಂಗ ಚಲನೆಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಯಾವುದೇ ಕಣಗಳ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳಲ್ಲಿ ಅನುರೂಪತೆಯು ನಿತ್ಯತೆಯ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುತ್ತದೆ (parity must be conserved). ಈ ಅನುರೂಪತೆಯು ಎಡ–ಬಲಗಳ ಸಮಮಿತಿ (left-right symmetry) ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ಸಮತಲ ದರ್ಪಣದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪ್ರತಿಫಲನಕ್ಕೂ ಮೂಲವಸ್ತುವಿಗೂ ಇರುವ ಮುಖ್ಯ ಭೇದವು ಎಡ-ಬಲಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ. ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಎಡ–ಬಲಗಳು ಪ್ರತಿರೂಪ (reflection) ದಲ್ಲಿ ಬಲ ಎಡಗಳಾಗುವುದು ಗೊತ್ತೇ ಇದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಕಣಗಳ ಅಂತರಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ, ಪೂರ್ವ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಅನುರೂಪತೆ (parity) ಯು ಸಮ (even) ವಾಗಿದ್ದರೆ, ಅಂತಿಮ (final state) ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಅದು ಸಮವಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು.

ಆದರೆ, K ಮೆಸಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ನಂತರ, τ ಮತ್ತು θ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳು ಕ್ಷಯ (decay) ಹೊಂದಿದಾಗ, ಕ್ರಮವಾಗಿ ಮೂರು ಪಯಾನು (pions) ಗಳೂ, ಎರಡು ಪಯಾನುಗಳೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಅನುರೂಪತೆಯ ತತ್ತ್ವವು ಅನುಸರಿಸಲ್ಪಡದಿರುವುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಯಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಸಮಂಜಸವಾದ

ಸಮಾಧಾನವನ್ನು ಕೊಡಲು ಲೀ ಮತ್ತು ಯಾಂಗ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1956 ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೊಸ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟರು. ಅದು ಈ ರೀತಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ :

ಅಧೋಬೀಜಾಂಶ (sub-nuclear) ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಬಲಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸುವಾಗ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಬಲಗಳಲ್ಲಿಯೂ ನಾಲ್ಕು ಮುಖ್ಯ ಭೇದಗಳನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು.

ಬಲಗಳು	ಸಾಪೇಕ್ಷ ಬಲ ಪ್ರಮಾಣ (relative strength)
1. ಪ್ರಬಲ (strong) ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವುದು.	1
2. ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ (electromagnetic)	10^{-2}
3. ದುರ್ಬಲ (weak)	10^{-13}
4. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ (gravitational)	10^{-38}

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ 2 ಮತ್ತು 4 ಅಂದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಮತ್ತು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ದೂರ ಅವಧಿ (long range) ಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವಾದುವು. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಅತಿ ಘನ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖವಾಗಿದ್ದು, ಅಲ್ಪ ತೂಕ ಕಣಗಳಲ್ಲಿ ಗಣನೀಯವಾಗಿಲ್ಲ. ರಾಸಾಯನಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಲಗಳು ಬಹಳ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

1. ಪ್ರಬಲ (strong) ಬಲಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ದೂರದ ಅವಧಿಗಳಲ್ಲಿ (ಅಂದರೆ 10^{-13} ಸೆಂ. ಮೀ.) ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಬಂಧಕ ಬಲಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಧಾನ ಪಾತ್ರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದಲೇ, ಬೀಜಾಂಶಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಕಣಗಳಿಂದ π – ಮೆಸಾನ್‌ಗಳೂ ಮತ್ತು ವಿಚಿತ್ರ ಕಣಗಳೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ.

ಈ ಮೂರು ಗುಂಪುಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ ನಮಗೆ ಉಳಿಯುವುದು ದುರ್ಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳು (weak interactions). ಇವುಗಳೂ ಅತ್ಯಲ್ಪ ದೂರಗಳಿಗೇ ಅನ್ವಯವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅಧೋಬೀಜಾಂಶ ಕಣಗಳ ಕ್ಷಯಕ್ಕೆ (decay of sub-

nuclear particles) ಇವು ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿವೆ. ಇವುಗಳೆಲ್ಲ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ರೀತಿಯಾಗಿ ಕ್ಷಯಿಸಿ, ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳಿಂದ ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಜೀವಿತಕಾಲಗಳಲ್ಲಿ ಅಪಾರ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳು ಆ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತವೆ.

ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಕ್ಷಯವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರ ಜೀವಿತಕಾಲವು ಮಿಕ್ಕ ಕಣಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದೆಯೆಂದೇ ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಬೀಜಕಣದ ಆವರ್ತಕಾಲವು ಸುಮಾರು 10^{-23} ಸೆಕಂಡಾಗಿದ್ದರೆ, ಇದಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, 10^{-10} ಸೆಕಂಡಿನ ಜೀವಿತಕಾಲವು ಬಹಳ ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ.

ಲೀ ಮತ್ತು ಯಂಗ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಅತಿಬಲ (strong) ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಅನುರೂಪತೆಯ ನಿತ್ಯತ್ವವು ಅನುಸರಿಸಲ್ಪಟ್ಟರೂ, ದುರ್ಬಲ (weak) ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ರೀತಿಯಾದ ನಿತ್ಯತ್ವವು ಇರಬೇಕೆಂಬ ನಿಯಮವಿಪುವುದಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ, ಈ ನಿತ್ಯತ್ವದ ತತ್ತ್ವವು ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗಲಾರದು ಎಂಬ ಅರ್ಥ ಬರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ನಿದರ್ಶನವಾಗಿ ಒಂದು ಪ್ರಯೋಗದ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನೂ ಅವರು ಕೊಟ್ಟರು. ಇದು ಕೋಬಾಲ್ಟ್ 60 (Co^{60}) ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ β–ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ಈ β–ಕಣ ಕ್ಷಯದ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಎಡ-ಬಲಗಳ ಭೇದವಿದ್ದು ಅನುರೂಪತೆಯ ತತ್ತ್ವವು ಅನ್ವಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. 1957 ರಲ್ಲಿ ಲೆಡರ್‌ಮನ್, ಫ್ರೀಡ್‌ಮನ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು π–ಮೆಸಾನ್‌ಗಳ ಕ್ಷಯದ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಅನುರೂಪತೆಯ ತತ್ತ್ವವು ಮುರಿದುಬಿದ್ದುದಾಗಿ ತೋರಿಸಿ ಕೊಟ್ಟರು.

ಅಂದಮೇಲೆ, ಅಧೋ ಬೀಜಾಂಶ ಕಣಗಳ ಕ್ಷಯಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ದುರ್ಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಮಿಕ್ಕ ಬಲಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಎಡ-ಬಲಗಳ ಭೇದವು ಕಂಡುಬರುವುದಿಲ್ಲವೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

9.5 ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿದ್ರವ್ಯ (Matter and anti-matter) —ಕ್ವಾರ್ಕ್‌ಗಳು (Quark's)

ಸಾಪೇಕ್ಷ ತತ್ತ್ವ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೂ ಒಟ್ಟು ಗೂಡಿಸಿ, ಡೈರಾಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದನು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಯಾವುದೇ

ಕಣಕ್ಕೂ ಒಂದು ಪ್ರತಿಕಣವು (anti-particle) ಇದ್ದೇ ಇರಬೇಕು. ಈ ಎರಡು ಕಣಗಳ ತೂಕಗಳೂ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು, ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ಚಿಹ್ನೆ (sign) ಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಭೇದವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಹಲವಾರು ನಿದರ್ಶನಗಳು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದುವು. ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಆಂಟಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಪ್ರತಿಕಣಗಳು. ಇವುಗಳನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ, e^-, p^+, e^+ ಮತ್ತು p^- ಎಂದು ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಮತ್ತೊಂದು ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ವಿದ್ಯುದಂಶವಿಲ್ಲದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೂ ಒಂದು ಪ್ರತಿಕಣವು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ n, $\bar{n}$).

ಇನ್ನೊಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಒಂದು ಕಣಕ್ಕೂ ಅದಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿ ರೂಪವಾದ ಪ್ರತಿಕಣಕ್ಕೂ ಸಂಘರ್ಷಣೆಯಾದರೆ, ಇವುಗಳ ನಾಶದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಅಗಾಧವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

e^- ಮತ್ತು e^+ ಸಂಘರ್ಷಣದಿಂದ ಕಣ ನಾಶವಾಗಿ, 1.02 MeV ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ.

p^+ ಮತ್ತು p^- ಕಣಗಳು ಸಂಘರ್ಷಣೆಯಾದರೆ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ಫಲವಾಗಿ, 5 π-ಮೆಸಾನ್‌ಗಳೂ ಇದರೊಂದಿಗೆ ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯೂ ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಮೂಲ ಕಣಗಳ ಸುಮಾರು $\frac{3}{4}$ ಭಾಗದ ಜಡಾಂಶವು ದ್ರವ್ಯನಾಶ ಹೊಂದಿ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತದೆ. ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಕೇವಲ 1% ಜಡಾಂಶವು ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನೋಡಿದರೆ, ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೂ ಅದರ ಪ್ರತಿ ಕಣಕ್ಕೂ ಉಂಟಾಗುವ ಘರ್ಷಣೆ ಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಒಂದು H – ಗುಂಡಿನ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯ ಶಕ್ತಿಯು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿಯೂ, ಅಪ್ರಯೋಜಕವಾಗಿಯೂ ಇರುವಂತೆ ಕಾಣುತ್ತದೆ.

ಮೆಸಾನ್‌ಗಳ ವಿವಿಧ ಭೇದಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇದೇ ರೀತಿಯಾಗಿ ಕಣ–ಪ್ರತಿಕಣಗಳ ಜೋಡಿಗಳು ಕಂಡುಬರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಭೇದ ಕಾಣಬಹುದಾದರೆ, ಬೀಜಾಂಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಬದಲು ಆಂಟಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, ಹೊರಗಣ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಬದಲು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಸುತ್ತುತ್ತ ಇರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಿದರೆ ನಮಗೆ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಬದಲು ಪ್ರತಿ ಪರಮಾಣುವು ಉದ್ಭವವಾಗಿ, ದ್ರವ್ಯಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಪ್ರತಿದ್ರವ್ಯ (anti-matter) ವು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೇನೋ ಎಂಬ ಕಲ್ಪನೆ ಬರುತ್ತದೆ.

ಈಗ, ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೂ (nucleons), ಇತರ ಅಲ್ಪ ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೂ (sub-nuclear particles) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳನ್ನೂ ಕ್ರೋಢೀಕರಿಸಿ ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಕೆಲವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿದೆ.

ವರ್ಗ		ಕಣದ ಹೆಸರು	ಸಂಕೇತ	ಜಡತ್ವಾಂಶ (m_e)	ಸರಾಸರಿ ಜೀವಿತಕಾಲ	ವಿದ್ಯುದಂಶ (e)	ಭ್ರಮಣಸಂಖ್ಯೆ	ವಿಚಿತ್ರ ಸಂಖ್ಯೆ	ಕ್ಷಯದ ಉತ್ಪನ್ನಗಳು	ಪ್ರತಿಕಣ
		ಫೋಟಾನ್	γ	0	–	–	–	0	–	γ
Leptons ಲೆಪ್ಟಾನ್‌ಗಳು		ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್	e	1	ಸುಸ್ಥಿರ	–1	1/2	–	–	ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ e^+
		ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ	ν_e	0	ಸುಸ್ಥಿರ	0	1/2	–	–	$\bar{\nu}_e$
		ಮ್ಯೂ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ	ν_μ	0	ಸುಸ್ಥಿರ	0	1/2	–	–	$\bar{\nu}_\mu$
		ಮ್ಯೂಆನ್	μ^-	206.7	2.3×10^{-6}	–1	1/2	–	$\bar{e} + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$	μ^+
ಬೋಸಾನ್‌ಗಳು (Bosons)	ಮೇಸಾನ್‌ಗಳು	π – ತಟಸ್ಥ	π^0	264.3	10^{-15}	0	0	0	$\gamma + \gamma$	π^0
		π – ಧನ	π^+	273.3	2.6×10^{-8}	+1	0	+	$\mu^+ + \nu_\mu$	π^-
	"	K – ತಟಸ್ಥ	K^0	965	10^{-10}	0	0	+1	$\pi^+ + \pi^-$ etc	$\bar{K}^0$
		K – ಧನ	K^+	966.5	1.2×10^{-8}	+1	0	+1	$\pi^+ + \pi^0$ etc	K^-
ಬೇರಿಯಾನ್‌ಗಳು (Baryons)	ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಾನ್‌ಗಳು	ಪ್ರೋಟಾನ್	p^+	1835	ಸುಸ್ಥಿರ	+1	1/2	0	–	$\bar{p}$
		ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್	n	1837	1×10^3	0	1/2	0	$\bar{e} + \bar{\nu}_e + p$	$\bar{n}$
	ಹೈಪರಾನ್‌ಗಳು	ಲ್ಯಾಂಬ್ಡಾ	Δ^0	2182	2.5×10^{-10}	0	1/2	–1	$\bar{\pi} + p$	$\bar{\Delta}^0$
		ಸಿಗ್ಮ – ಧನ	Σ^+	2327	0.8×10^{-10}	+1	1/2	–1	$\pi^+ + n$	$\bar{\Sigma}$
		ಸಿಗ್ಮ – ತಟಸ್ಥ	Σ^0	2325	10^{-20}	0	1/2	–1	$\gamma + \Delta^0$	$\bar{\Sigma}^0$
		ಕ್ಸೈ – ತಟಸ್ಥ	Ξ^0	2569	2×10^{-10}	0	1/2	–2	$\pi^0 + \Delta^0$	$\bar{\Xi}^0$
		ಸಿಗ್ಮ – ಋಣ	Σ^-	2343	1.6×10^{-10}	–1	1/2	–1	$\bar{\pi} + n$	$\bar{\Sigma}^-$
		ಕ್ಸೈ – ಋಣ	Ξ^-	2585	2×10^{-10}	–1	1/2	–2	$\bar{\pi} + \Delta^0$	$\bar{\Xi}^+$

ಚಿತ್ರ 94 – ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳ ಪಟ್ಟಿ

ಈ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು :—

(i) ಒಂದು ಕಣವೂ ಅದರ ಪ್ರತಿಕಣವೂ ಒಂದೇ ತೂಕ, ಭ್ರಮಣಸಂಖ್ಯೆ ಮತ್ತು ಜೀವಿತಕಾಲಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳೂ, ವಿಚಿತ್ರ ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ ಒಂದೇ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿದ್ದು ವಿರೋಧ ಚಿಹ್ನೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಪ್ರತಿಕಣದ ಕ್ಷಯದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳು ಕಣದ ಕ್ಷಯದ ಕಣಗಳ ಪ್ರತಿಕಣಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

(ii) K° ಮತ್ತು $\bar{K}^\circ$ ಕಣಗಳ ಕ್ಷಯದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳಿಗೆ ಮಾತ್ರ ಎರಡು ಜೀವಿತಕಾಲಗಳಿರುತ್ತವೆ (1×10^{-10} ಮತ್ತು 6×10^{-8} ಸೆಕೆಂಡು).

(iii) ಮೇಲಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ $e = 4.8 \times 10^{-10}$ e.s.u.

$m_e = 9.1 \times 10^{-28}$ ಗ್ರಾಂ.

ಮೇಲಿನ ಪಟ್ಟಿಯ ಅಂಕಿ ಅಂಶಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ವಿವಿಧ ಗುಂಪುಗಳ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತೆ ಹಲವು ರೇಖಾಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ರಚಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಭ್ರಮಣಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಬದಲಾಯಿಸಿದಂತೆ ಈ ಚಿತ್ರಗಳ ಆಕೃತಿಗಳು ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದಿದರೂ, ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವು ಹೊರಬಿದ್ದಿತು: ಈ ಎಲ್ಲ ಆಕೃತಿಗಳನ್ನೂ ಸಮಾಂತರ ತ್ರಿಭುಜ ಗಳನ್ನು (equilateral triangles) ಜೋಡಿಸುವುದರಿಂದ ರಚಿಸಬಹುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ತ್ರಿಭುಜಗಳ ಮೂರು ಬಿಂದುಗಳೂ ಒಂದೊಂದು ಮೂಲಭೂತ ಕಣಕ್ಕೆ ಮೀಸಲಾಗಿರುತ್ತದೆ—ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸಂಗತಿ ಏನೆಂದರೆ, ಈ ರೀತಿಯ ಚಿತ್ರೀಕರಣವನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಯಾವ ಗೊತ್ತಾದ ಕಣವೂ ಸಿಗಲಿಲ್ಲ. ಆ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಭರ್ತಿಮಾಡಬೇಕಾದರೆ ಅದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವು -1 ಆಗಿದ್ದು ಅದರ ತೂಕವು $1685\ \frac{\text{MeV}}{\text{C}^2}$ ಗೆ ಸಮಾನವಾಗಬೇಕಾ ಗಿದ್ದಿತು. ಇದೇ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡ ಒಂದು ಕಣವು 1964 ರಲ್ಲಿ ಬ್ರೂಕ್ ಹೇವನ್ ಸಿಂಕ್ರೋಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದ ಉಪಕರಣದಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಒಮಿಗ–ಋಣ (omega minus, Ω^-) ಎಂದು ಹೆಸರಿಡಲಾಯಿತು.

ಈ ಕಣದ (Ω^-) ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಮೇಲೆ, ಈ ವಿವಿಧ ಅಧೋ ಬೀಜಕಣ (sub-nucleons) ಗಳಿಗೆ ಆಧಾರಭೂತವಾಗಿಯೂ, ಪ್ರಧಾನವಾಗಿಯೂ ಇರುವಂಥ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 3 ಆಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಯು ಬಹಳ ಕುತೂಹಲಕಾರಿಯಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಜ್ವೈಗ್ (Zweig), ಗೆಲ್‌ಮಾನ್ (Gell-mann) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಹೊರಗೆಡಹಿರುವ ಕಲ್ಪನೆಗಳು ಪ್ರಮುಖವಾದುವು. ಅವರು ತಮ್ಮ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಮೂಲಭೂತವಾಗುವಂಥ ಮೂರು ಪ್ರಧಾನ ಕಣಗಳ ರೂಪರೇಖೆಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳೂ, ಭ್ರಮಣಾಂಶಗಳೂ ಮಾತ್ರ ನಿರ್ಧರಿತವಾಗಿವೆ. ಜಡಾಂಶಗಳು ವ್ಯಕ್ತವಾಗಿಲ್ಲ. ಇವುಗಳನ್ನು ಮೂರು 'ಕ್ವಾರ್ಕ್' (Quarks) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳು

q_p	(ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮಾದರಿ)	ವಿದ್ಯುದಂಶ	$\frac{2}{3}$	
q_n	(ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮಾದರಿ)	ವಿದ್ಯುದಂಶ	1/3	
q_x	(ಲಾಂಬ್ಡ ಮಾದರಿ)	ವಿದ್ಯುದಂಶ	1/3	(9.5)

ಈಗಿನ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಕಣಗಳು ಇದುವರೆಗೂ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ಯಾವ ಕಣಗಳಿಗೂ ಹೋಲಿಕೆಯಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಇದು ಒಂದು ಹೊಸ ಮಾದರಿಯ ಭೌತ ಪದಾರ್ಥ (physical reality) ವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅದಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯು ದಂಶಗಳು ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರದೆ ಭಿನ್ನಾಂಶಗಳಿರಬೇಕು. ಅವುಗಳು ಅತಿ

ಭಾರವಾದ ಕಣಗಳಾಗಿರಬೇಕು. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿರುವ ಬಲಗಳೂ ಪ್ರಬಲವಾಗಿಯೇ ಇರಬೇಕು.

ಈ ಕ್ವಾರ್ಕ್‌ಗಳ ವಿಚಾರದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಊಹಾತ್ಮಕವಾದ ವಿಷಯಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತಿವೆ. ಆದರೂ, ಅದು ಒಂದು ಪ್ರಶ್ನಾರ್ಥಕವಾಗಿಯೇ ಇದೆ; ಸಮಂಜಸವಾದ ಉತ್ತರಕ್ಕೆ ಅನ್ವೇಷಣೆ ನಡೆಯುತ್ತಲೇ ಇದೆ.

ಒಬ್ಬ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಹೇಳಿರುವಂತೆ "ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕಂಡುಹಿಡಿಯ ಬೇಕಾದುದು ಒಂದು ನಿಯಮ ಬದ್ಧತೆ (order). ಇದನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಹಲವಾರು ವಾಸ್ತವಾಂಶಗಳು (facts) ಸಂಗ್ರಹವಾಗಬೇಕು. ಈ ಸಂಗ್ರಹದಿಂದ ಮಾತ್ರವೇ ಅದು ವಿಜ್ಞಾನವಾಗಲಾರದು. ಕೇವಲ ಕಟ್ಟಡ ಕಲ್ಲುಗಳ ಸಂಗ್ರಹ ಹೇಗೆ ಒಂದು ಮನೆ ಎನಿಸಿಕೊಳ್ಳಲಾರದೋ ಹಾಗೆಯೇ ಬರಿಯ ವಾಸ್ತವಾಂಶಗಳ ಸಂಗ್ರಹವು ವಿಜ್ಞಾನವೆನ್ನಿಸಿಕೊಳ್ಳಲಾರದು.

ಇದೇ ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದ ತಿರುಳು. ಈ ವಿಜ್ಞಾನ ಮಾರ್ಗದ ಅನುಸರಣೆಯೂ, ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಮನೋಭಾವದಿಂದ ಪ್ರಕೃತಿಯ ರಹಸ್ಯಗಳ ಅನ್ವೇಷಣೆಯೂ ನಿರಂತರವಾಗಿ ಸಾಗುತ್ತಲೇ ಇರುವುದು.

ಅಧ್ಯಾಯ 10

ಪರಮಾಣುಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಮಾನವನ ಭವಿಷ್ಯ

10.1 ವಿಜ್ಞಾನದ ಧ್ಯೇಯಗಳು

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಾಂಶದ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಅದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಮಾನವನ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನದ ಯುಗವು ಒಂದು ಹೊಸ ಚೈತನ್ಯವನ್ನು ಮೂಡಿಸಿ ಅವನ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಹೊಸ ಲಕ್ಷ್ಯಗಳನ್ನೂ, ಆಕಾಂಕ್ಷೆಗಳನ್ನೂ ಮತ್ತು ಆಶಾಭಾವನೆಗಳನ್ನೂ ಉಂಟುಮಾಡಿವೆ. ಕೇವಲ ಮೂರು ನಾಲ್ಕು ಶತಮಾನಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಆಗಿರುವ ಪ್ರಗತಿ ಮತ್ತು ಬದಲಾವಣೆಗಳು ತಮ್ಮ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಲಕ್ಷಾಂತರ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಲಾಗದ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಸಾಧಿಸಿವೆ. ಅದರಲ್ಲಿಯೂ ಈ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ನಡೆದಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮಾನವದ ಜೀವನದ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೇ ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಏರಿಸುತ್ತಿವೆ. ವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಶುದ್ಧ ಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಅದರ ಔಪಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಮಹತ್ತ್ವವಾದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣುಶಕ್ತಿಗಳು ಪ್ರಮುಖವಾದುವು.

ಒಂದು ಕಾಲಕ್ಕೆ ವಿಜ್ಞಾನದ ಮೂಲ ಧ್ಯೇಯವು ಪ್ರಕೃತಿಯ ರಹಸ್ಯಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದು ಮಾತ್ರ ಆಗಿದ್ದರೂ, ಈಗಿನ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಅವನ್ನು ಮಾನವನ ನಿತ್ಯಜೀವನದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಮಾರ್ಗದಿಂದ ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಮಾನವನಿಗಾಗಿ ವಿಜ್ಞಾನವೋ, ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕಾಗಿ ಮಾನವನೋ–ಎಂಬ ಸಮಸ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಮೊದಲನೆಯದಕ್ಕೆ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಾಧಾನ್ಯವನ್ನು ಕೊಡಬೇಕಾಗಿರುವ ಪ್ರಮೇಯವು ಒದಗಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ವಿಜ್ಞಾನವನ್ನೂ ಅದರ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನೂ ಮಾನವನ ಶ್ರೇಯಸ್ಸಿಗೂ ಅಭಿವೃದ್ಧಿಗೂ ಸಾಧನವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದರಲ್ಲಿ ಯಾವ ತಪ್ಪೂ ಇರಲಾರದು. ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಮೂಲ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಸಾಗುತ್ತಲೇ ಇರಬೇಕು. ಇದಕ್ಕೆ ಯಾವ ಪ್ರತಿಬಂಧಕವೂ ಇರಕೂಡದು. ಅದರ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಮಾನವನ ಸುಖ ಸಂಪತ್ತುಗಳನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಿ ಅವನ

ಜೀವನದ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಆರ್ಥಿಕವಾಗಿಯೂ, ನೈತಿಕವಾಗಿಯೂ ಹೆಚ್ಚಿಸಿ ಸಾಂಸ್ಕೃತಿಕ ದರ್ಜೆಯನ್ನು ಏರಿಸಲು ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಹೀಗೆ ಮಾನವನ ಜೀವನವು ಮುನ್ನಡೆದರೆ ಮಾತ್ರ ಅವನ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೆ ಒಂದು ಸಾರ್ಥಕ್ಯವು ಏರ್ಪಡುವುದು.

ಇಂದು ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಗತಿಯನ್ನು ಅವಲೋಕಿಸಿದರೆ, ಅದು ಮಾನವನ ಬುದ್ಧಿ ಶಕ್ತಿಯ ಉಪಯೋಗಕ್ಕೆ ಒಂದು ನಿದರ್ಶನವಾಗಿದೆ. ಪ್ರಕೃತಿದತ್ತವಾದ ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಿದಷ್ಟೂ ಹೊಸ ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಫಲಕಾರಿಯಾಗಿ ಸತ್ಯಾನ್ವೇಷಣೆಯ ಪ್ರಯತ್ನದಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದು ಹೆಜ್ಜೆ ಮುಂದಿಟ್ಟಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರವನ್ನು ಮಾತ್ರ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳ ನೈಜ ಸ್ವರೂಪವೂ ಅವುಗಳೆರಡರ ನಡುವೆ ಇರುವ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೀಯತೆಯ ನಿಯಮಗಳೂ ಗೊತ್ತಾಗಿವೆ. ಇದೇ ಒಂದು ಅಖಂಡ ಸಾಧನೆಯೆಂದು ಹೇಳ ಬಹುದು. ಇದರ ಶಾಖೆಗಳಂತೆ ಹಲವಾರು ಇತರ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಭಾಗಗಳೂ ಪ್ರವರ್ಧಮಾನವಾಗುತ್ತಿವೆ. ಪರಮಾಣು ಲೋಕದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯ ಮಾನಗಳೂ, ಬೃಹತ್ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಸಾಗುತ್ತಿರುವ ಸಂಭವಗಳೂ ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಗೋಚರವಾಗಿವೆ. ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಸಾಮರಸ್ಯ ಮತ್ತು ಭೇದಗಳೂ ಇಂದು ಶಾಸ್ತ್ರೀಯವಾಗಿ ತಿಳಿದುಬಂದಿವೆ. ಒಂದೇ ಮಾತಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳಬಹುದಾದರೆ, ಈ ಭೌತ ಪ್ರಪಂಚದ ಮತ್ತು ಇಡೀ ವಿಶ್ವದ ಚರಿತ್ರೆಯೂ, ಆಗುಹೋಗುಗಳೂ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿವೆ.

ವಿಜ್ಞಾನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪ್ರಗತಿಯಲ್ಲಿ ಯಂತ್ರಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವು ಬಹು ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಬುದ್ಧಿಯ ಕೌಶಲ್ಯವು ಎಷ್ಟು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದುದೆಂಬುದನ್ನು ಒತ್ತಿ ಹೇಳಬೇಕಾಗಿಲ್ಲ. ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಸಾಧಕವಾಗಿರುವ ಬೃಹತ್ ಪ್ರಮಾಣದ ಯಂತ್ರಗಳ ರಚನೆಯ ವಿಷಯವನ್ನು ಈ ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಚಂದ್ರನಿಗೆ ಮಾನವನನ್ನು ಕಳುಹಿಸಲು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಅಪೋಲೋ 11 ವಾಹಕ ಯಂತ್ರದ ರಚನೆಯೇ ಮಾನವನ ಯಂತ್ರನಿರ್ಮಾಣ ಕುಶಲತೆಯ ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಸಾಕ್ಷಿಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಆದುದರಿಂದ ವಿಜ್ಞಾನ (science) ದ ಪ್ರಗತಿಯೂ ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಜ್ಞಾನ (technology) ದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯೂ ಜೊತೆ ಜೊತೆಯಾಗಿ ಪೂರಕ (complementary) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವೃದ್ಧಿಗೊಳ್ಳುವುದು ಅನಿವಾರ್ಯ.

10.2 ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ

ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಔಪಯೋಗಿಕ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ವಿಜ್ಞಾನದ ಮುಖ್ಯ ಉಪಕಾರವೇನೆಂದರೆ :– ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪತ್ತಿಯ ಸಾಧನಗಳು ಮಾನವನ ಸಂಪದಭಿವೃದ್ಧಿಗಳನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಲು ಈ ಶಕ್ತಿಯೇ (power) ಮುಖ್ಯ ಮೂಲವಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಸಂಪನ್ಮೂಲಗಳನ್ನು ಕೃತಕವಾಗಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗುವ ಯಂತ್ರಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಆಳವಡಿಸಿದರೆ, ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪಾದನೆಯು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಅನಾದಿ ಕಾಲದಿಂದಲೂ, ಗಾಳಿ, ನೀರು, ತೇಜಸ್ಸು ಮುಂತಾದುವುಗಳಿಂದ ಈ ವಿಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಮಾರ್ಗಗಳು ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದುವು. ಆದರೆ, ವಿಜ್ಞಾನದ ಯುಗವು ಆರಂಭವಾದಮೇಲೆ, ನೀರಿನ ಆವಿಯ ಶಕ್ತಿ, ತೈಲಶಕ್ತಿ, ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿ ಮುಂತಾದುವು ಪ್ರಮುಖ ಮೂಲ ಸಾಧನಗಳಾದುವು. ಇವುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಭೂಮಿ, ನೀರು ಮತ್ತು ವಾಯು ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಯಾನಮಾಡಲು ಬೇಕಾಗುವ ಎಂಜಿನ್ನುಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾದುವು. ರಾಕೆಟ್ಟುಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದಿಂದ ಚಂದ್ರ, ಮಂಗಳ ಮತ್ತು ಇತರ ಗ್ರಹಗಳಿಗೆ ಪ್ರಯಾಣ ಮಾಡುವುದು ಇಂದು ಸರ್ವೇ ಸಾಮಾನ್ಯವಾದ ಮಾತಾಗಿದೆ. ಇದರೊಂದಿಗೆ, ಅಂತರರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ವಾರ್ತಾ ಸಂಸ್ಥೆಗಳಿಗೆ ರೇಡಿಯೋ ಮತ್ತು ಟೆಲಿವಿಷನ್ ವಿಧಾನಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಇಡೀ ಪ್ರಪಂಚವೇ ಸಂಕುಚಿತವಾದಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಾಧನಗಳ ಉಪಯೋಗಗಳು ಎಲ್ಲರ ಮನೆಗಳನ್ನೂ ಮುಟ್ಟಿವೆ. ವೈದ್ಯಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ಕೈಗಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿಯೂ ನಡೆದಿರುವ ಅಪಾರವಾದ ಪ್ರಗತಿಯಿಂದ ಪ್ರತಿಯೊಬ್ಬ ಮಾನವನ ಜೀವನದ ಸ್ವರೂಪವೇ ಮಾರ್ಪಾಡಾಗಿದೆ. ಕೆಲವು ದಶಕಗಳ ಹಿಂದೆ ಕಲ್ಪನೆಗೂ ಕೂಡ ಸಾಧ್ಯವಾಗದ ಬದಲಾವಣೆಗಳು ಇಂದು ಎಲ್ಲರಿಗೂ ಹಸ್ತಗತವಾಗಿವೆ. ಹಿಂದೆಂದೂ ಕಾಣದ ಹೊಸ ಹುರುಪೂ, ಉತ್ಸಾಹವೂ, ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಉಲ್ಲಾಸವೂ ಇಂದಿನ ನಾಗರಿಕತೆಯ ಲಕ್ಷಣಗಳಾಗಿವೆ.

ಹಿಂದಿನ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕವಾದ ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪತ್ತಿ ಸಾಧನೆಗಳ ಜೊತೆಗೆ, ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನವು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟಿದೆ. ದ್ರವ್ಯದ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಭಾಗದ ನಾಶದಿಂದ ಎಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬಲ್ಲುದು ಎಂದು ಈಗ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇದೊಂದು ಅಕ್ಷಯ ಸ್ವರೂಪದ ಹೊಸ ಶಕ್ತಿಮೂಲವೆಂದೇ ಹೇಳಬಹುದು. ಜಲ ವಿದ್ಯುತ್, ತೈಲ ಸಂಪತ್ತು ಮುಂತಾದುವುಗಳ ಉಪಯೋಗಕ್ಕೆ ಒಂದು ಮಿತಿಯಿದೆ. ಆದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವುದರಲ್ಲಿ ಯಾವ ಕೊರತೆಗಳೂ ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಇದರಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಮತ್ತು ಇತರ

ವಿಧವಾದ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಉತ್ಪಾದಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಆರ್ಥಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಇವುಗಳ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಕಂಡುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗಿದೆ. ಇನ್ನು ಕೆಲವು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ವಾಹನಗಳ ಸಂಚಾರಗಳೂ, ಕೈಗಾರಿಕೆಗಳೂ, ವೈದ್ಯ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದಾದ ಅನೇಕ ಉಪಕರಣಗಳೂ ಪರಮಾಣುಶಕ್ತಿ ಯಿಂದಲೇ ನಡೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆಂದು ತೋರಿಬರುತ್ತಿದೆ. ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯು ಮಾನವನ ಸೇವೆಯಲ್ಲಿ ಮಾಡಬಹುದಾದ ಕಾರ್ಯಗಳಿಗೆ ವಿಶಾಲವಾದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಕಂಡುಬಂದಿದೆ.

10.3 ಇಂದಿನ ನಾಗರಿಕತೆಯ ಸಮಸ್ಯೆಗಳು

ಹೀಗಾಗಿ, ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ಮಾನವನ ಜೀವನ ಎರಡಕ್ಕೂ ಉಂಟಾಗಿರುವ ಬಾಂಧವ್ಯದಿಂದ ಇಂದಿನ ನಾಗರಿಕತೆಯು ಒಂದು ಹೊಸ ಘಟ್ಟವನ್ನು ತಲಪಿದೆ. ಇದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನದಿಂದ ಉಂಟಾಗಬಹುದಾದ ಎಲ್ಲ ಪ್ರಯೋಜನಗಳೂ ಮಾನವನ ಹಿತಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಆಗಿದೆಯೇ ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಗೆ ಉತ್ತರವನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿಯುವ ಕಾಲವು ಬಂದಿದೆ. ಇಡೀ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ವ್ಯವಹಾರಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಅನೇಕ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ದುರುಪ ಯೋಗದಿಂದ ಅಪಾರವಾದ ಹಾನಿಯು ಉಂಟಾಗಿದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಆ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲಗಳು ಪ್ರಪಂಚದ ಸುಮಾರು ಅರ್ಧ ಭಾಗದ ಜನಸಮುದಾಯಕ್ಕೆ ಲಭಿಸಿಲ್ಲ. ಆ ಜನವು ದಾರಿದ್ರ್ಯ, ಅಜ್ಞಾನಾಂಧಕಾರ, ರೋಗರುಜಿನಗಳ ಕಷ್ಟ ಗಳಿಂದ ಪಾರಾಗಿಲ್ಲ. ಇಂದಿನ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಎದ್ದು ಕಾಣುತ್ತಿರುವ ದೃಶ್ಯದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖಗಳಿವೆ. ಒಂದರಲ್ಲಿ ನಾಗರಿಕತೆಯು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿ ಜನರು ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಗತಿಯ ಫಲಗಳನ್ನು ತಮ್ಮ ನಿತ್ಯಜೀವನದಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಸುಖ ಸಂತೋಷಗಳಿಂದ ನಲಿಯುತ್ತಿದ್ದಾರೆ. ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖವನ್ನು ನೋಡಿದರೆ, ನಮಗೆ ಕಾಣುವುದು ಜೀವನವನ್ನು ಸಾಗಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಸೌಕರ್ಯಗಳಾದ ಅನ್ನ, ವಸತಿ, ಆರೋಗ್ಯಗಳ ಅಭಾವ. ಈ ಎರಡು ದೃಶ್ಯಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರವು ಬಹಳ ಆಳವಾದುದು. ಈ ಅಂತರವನ್ನು ಬಹಳ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಕಡಮೆಮಾಡಿ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಯೋಜನಗಳು ಕೆಲವರಿಂದ ಮಾತ್ರವೇ ಅಲ್ಲದೆ ಎಲ್ಲರಿಂದಲೂ ಅನುಭವಿಸಲ್ಪಡ ಬೇಕಾದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಬರಬೇಕಾಗಿದೆ. ಇದೇ ಈಗಿನ ಪ್ರಮುಖ ಸಮಸ್ಯೆ ಯೆನ್ನಬಹುದು.

ಮತ್ತೊಂದು ಕಾರಣದಿಂದಲೂ, ಇಂದು ಸಾರ್ವತ್ರಿಕವಾಗಿ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಮಾನಸಿಕ ಅಶಾಂತಿಯೂ, ಭೀತಿಯೂ ಜನರನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸಿವೆ. ಈ ಭೀತಿಯು ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದಲೇ ಉತ್ಪನ್ನವಾದುದು ಎಂಬುದು ಕೆಲವರ ಮತ.

ಅವರ ಅಭಿಪ್ರಾಯದ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬುಗಳನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಇಡೀ ಮಾನವಕೋಟಿಯ ನಿರ್ಮೂಲನದ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದ್ದು, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ವಿಜ್ಞಾನವೇ ಈ ನಾಶಕ ಕೃತ್ಯದ ಹೊಣೆಯನ್ನು ಹೊರಬೇಕು. 1945 ರಲ್ಲಿ ಜಪಾನಿನ ಎರಡು ದೊಡ್ಡ ಪಟ್ಟಣಗಳು ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬುಗಳಿಂದ ನಿರ್ಮೂಲವಾದುದೂ, ಅದರಿಂದೀಚೆಗೆ ಕೆಲವು ಪ್ರಬಲ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳು ತಮ್ಮ ಶಸ್ತ್ರಾಗಾರಗಳಲ್ಲಿ ನೂರಾರು A – ಮತ್ತು H – ಬಾಂಬುಗಳನ್ನು ಶೇಖರ ಮಾಡುತ್ತಿರುವುದೂ ಭಯೋತ್ಪಾದಕ ವಿಷಯಗಳೇ ಹೌದು. ಯಾವ ದುರ್ದೈವದಿಂದಲಾದರೂ, ಆ ಗುಂಡುಗಳನ್ನು ದ್ವೇಷ ಮನೋಭಾವದಿಂದ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದಲ್ಲಿ, ಇಷ್ಟು ಕಷ್ಟಪಟ್ಟು ಸಾಧಿಸಿ ರೂಪಗೊಂಡಿರುವ ನಾಗರಿಕತೆಯಷ್ಟೂ ನಿರ್ಮೂಲವಾಗುವುದರಲ್ಲಿ ಸಂದೇಹವಿಲ್ಲ. 1939–40 ರಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಎರಡನೆಯ ಮಹಾಯುದ್ಧವು ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದುದೂ, ಪರಮಾಣುವಿದಲನ (fission) ತತ್ತ್ವದಿಂದ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಕಂಡುಬಂದುದೂ, ಏಕಕಾಲಿಕವಾದ ಒಂದು ವಿಷಾದ ಘಟನೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಪ್ರಪಂಚವೆಲ್ಲ ಯುದ್ಧಸಾಗರದಲ್ಲಿ ಮಗ್ನವಾಗಿದ್ದಾಗ, ಇಂಥ ಒಂದು ಹೊಸ ಶಕ್ತಿಯ ಖನಿಯು ದೊರಕಿ, ಅದನ್ನು ಮಾರಕ ಅಸ್ತ್ರವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಅಮೆರಿಕ ದೇಶವು ಜಪಾನ್ ಪಟ್ಟಣಗಳ ನಿರಪರಾಧಿ ಜನಸಾಮಾನ್ಯದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದ ಘಟನೆಯು ಇಡೀ ಪ್ರಪಂಚವನ್ನೇ ನಡುಗಿಸಿದ್ದರಲ್ಲಿ ಆಶ್ಚರ್ಯವೇನೂ ಇಲ್ಲ. ಇಂಥ ದುರ್ಘಟನೆಯು ಯಾವಾಗ ಮತ್ತೆ ಸಂಭವಿಸಬಹುದೋ ಎಂಬ ಭೀತಿಯು ಜನಸಾಮಾನ್ಯದಲ್ಲಿ ಮೂಡಿರುವುದರಲ್ಲಿ ಆಶ್ಚರ್ಯವೂ ಇಲ್ಲ.

ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ದುರುಪಯೋಗದ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳಿಗಾಗಿ ವಿಜ್ಞಾನವನ್ನೇ ಆಪಾದಿಸುವುದು ಸರಿಯೇ ಎಂಬುದನ್ನು ಎಲ್ಲರೂ ವಿವೇಚಿಸಬೇಕಾದ ವಿಷಯ. ಈ ವಿವೇಚನೆಯಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನವು ಜ್ಞಾನಸಾಧನೆಯ ಒಂದು ಮಾರ್ಗವೆಂಬುದನ್ನೂ, ಅದರ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಬಳಸುವಾಗ ಮಾನವನು ತನ್ನ ವಿವೇಕದಿಂದ ತನ್ನ ಹಿತಕ್ಕಾಗಿ ಮಾತ್ರ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಮನಸ್ಸುಮಾಡಿ ವಿನಾಶಕಾರಕ ಹಾದಿಯನ್ನು ತೊರೆಯಬೇಕು—ಎಂಬುದನ್ನೂ ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕು. ಇದು ಕೇವಲ ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯ ದುರುಪಯೋಗಕ್ಕೆ ಮಾತ್ರ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಪ್ರಶ್ನೆಯಲ್ಲ. ಯಾವುದೇ ಸಾಧನವನ್ನೂ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಎರಡು ಹಾದಿಗಳು ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮನುಷ್ಯನು ವಿನಾಶಕಾರಕ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಮನಃಪೂರ್ವಕವಾಗಿ ತೊರೆದು ಶಾಂತಿಯುತವಾದ ಮಾರ್ಗವನ್ನೇ ಹಿಡಿಯಬೇಕಾದುದು ಅವನ ವಿವೇಕ ಮತ್ತು ಸಂಸ್ಕೃತಿಯ ಲಕ್ಷಣಗಳು. ಸಮಾಜಘಾತಕ ಮಾರ್ಗವನು

ಅನುಸರಿಸುವ ಯಾವ ಮನುಷ್ಯನೇ ಆಗಲಿ, ರಾಷ್ಟ್ರವೇ ಆಗಲಿ, ನಿಂದೆಗೆ ಅರ್ಹ ವಾಗುತ್ತದೆ. ವಿಮಾನಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದಿಂದ, ಆಕಾಶಯಾನವು ಸುಸೂತ್ರವಾಗಿ ನಡೆದು ಇತರ ಗ್ರಹಗಳಿಗೆ ಹೋಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇರುವುದು ಒಂದು ಮಾರ್ಗ. ಅದೇ ವಿಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಹಾರಿ, ಮೇಲಿನಿಂದ ಜನಸಾಮಾನ್ಯದ ಮೇಲೆ ಗುಂಡು ಹಾರಿಸಿ ಕೊಲ್ಲುವುದು ಮತ್ತೊಂದು ಮಾರ್ಗ. ಈ ಎರಡನೆಯ ಮಾರ್ಗದ ಸಾಧ್ಯತೆ ಯಿರುವುದರಿಂದ ವಿಮಾನಗಳನ್ನು ತ್ಯಜಿಸಿ ಅವುಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲು ಕಾರಣವಾದ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಬಹಿಷ್ಕಾರ ಹಾಕಬೇಕೆಂದು ಹೇಳುವುದು ಬುದ್ಧಿವಂತರ ಲಕ್ಷಣವಲ್ಲ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನೂರಾರು ಶಾಂತಿಯುತ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಬಳಸಿ, ನಿತ್ಯಜೀವನದಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಜನ ಗಳು ಕಂಡುಬಂದಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಂದ (atomic reactors) ಪಡೆಯಬಹುದೆಂದು ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಹೀಗಿರುವಾಗ, ಪರಮಾಣುಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಮಾರಕವಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಬಾಂಬುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ತಯಾರುಮಾಡಿ ಶೇಖರ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ದುರುದ್ದೇಶಕ್ಕೆ ಮನುಷ್ಯನ ಕುತ್ಸಿತ ಮತ್ತು ದ್ವೇಷ ಮನೋಭಾವಗಳು ಕಾರಣವೇ ಹೊರತು ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯ ವಿಜ್ಞಾನವಲ್ಲ ಎಂಬುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ.

10.4 ಅಶಾಂತಿ ಮತ್ತು ಭೀತಿಗಳನ್ನು ಪರಿಹರಿಸುವ ಮಾರ್ಗಗಳು

ಈ ವಿಶ್ಲೇಷಣದಿಂದ ಇಂದಿನ ನಾಗರಿಕ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ತೋರಿಬರುವ ಅಶಾಂತಿ ಮತ್ತು ಭೀತಿಗಳಿಗೆ ಮುಖ್ಯ ಕಾರಣಗಳು ಎದ್ದುಕಾಣುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಮೇಲೆ ಪರಿಹಾರಮಾರ್ಗಗಳೂ ತಾವಾಗಿಯೇ ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತವೆ. ಜ್ಞಾನದ ಶೇಖರಣೆಗೆ ಮಿತಿಯಿಲ್ಲ. ಹಿಂದಿನ ಶತಮಾನಗಳಿಗಿಂತ ಈಗ ನಾವು ಒಂದು ಪ್ರವರ್ಧಮಾನಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ನಮಗೆ ಎಲ್ಲ ಜ್ಞಾನವೂ ಲಭಿಸಿದೆಯೆಂದು ಹೇಳುವುದು ಅಜ್ಞಾನವಾಗುವುದು. ಮಹಾ ಮೇಧಾವಿಗಳಾದ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಹೇಳುವಂತೆ ಇದುವರೆಗೂ ಸಾಧಿಸಿರುವುದನ್ನು ಇನ್ನೂ ಸಾಧಿಸಬೇಕಾದುದರೊಂದಿಗೆ ನಾವು ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಅದು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿಯೂ, ಗಣನೀಯವಲ್ಲದಂತೆಯೂ ತೋರುತ್ತದೆ. ಜ್ಞಾನದ ಪ್ರವಾಹವು ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ ನಿರ್ಬಾಧಿತವಾಗಿಯೂ ಸಾಗುತ್ತಲೇ ಇರಬೇಕು. ಇದರ ಪ್ರಯೋಜನವನ್ನು ಪಡೆಯುವಾಗ ಮಾತ್ರ ಮನುಷ್ಯನು ವಿವೇಕದಿಂದ ವರ್ತಿಸಿ, ವಿನಾಶಕಾರಕವಾದ ಹಾದಿಯ ಕಡೆ ಗಮನ ಕೊಡದೆ, ಜನ ಸಾಮಾನ್ಯರ ಹಿತಾಸಕ್ತಿಗಳನ್ನು ವೃದ್ಧಿಪಡಿಸಲು ಮಾತ್ರ ಅವಕಾಶವಿರುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಇದು ಮಾನವನ ವಿವೇಕಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯ. ಮಿದುಳಿನ ಬೆಳವಣಿಗೆ ಮಾತ್ರ ಅಪ್ರಯೋಜಕ. ಅದರೊಂದಿಗೆ ಸಮ ತೂಕದಲ್ಲಿ ಹೃದಯ

ವೈಶಾಲ್ಯವೂ, ಮಾನವೀಯ ಗುಣಗಳೂ ಬೆಳೆಯಬೇಕು. ಮಾನವನು ಬರಿಯ ಯಂತ್ರವಲ್ಲ. ಅವನಿಗೆ ಹಿರಿಮೆಯ ಸ್ಥಾನ ಬಂದಿರುವುದು ಅವನ ಬುದ್ಧಿ ಮತ್ತು ಶೀಲ ಮುಂತಾದ ಸದ್ಗುಣಗಳಿಂದ. ಆದ್ದರಿಂದ ಮಾನವನು ಯಾವ ವಿಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೇ ಆಗಲಿ ತನ್ನ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹಸ್ತಗತ ಮಾಡಿಕೊಂಡರೆ, ಅದನ್ನು ಸನ್ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಪ್ರವರ್ತಿಸುವ ಮನೋಭಾವವನ್ನು ಕುದುರಿಸಿಕೊಂಡರೆ ಮಾತ್ರ ನಿಜವಾದ ಪ್ರಗತಿಗೆ ಕಾರಣನಾಗುತ್ತಾನೆ.

ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಅವಲೋಕಿಸಿದರೆ, ನಾವು ಇಂದು ಕಾಣುವುದು ಶೀಲ ಮತ್ತು ವಿವೇಕಗಳ ಪರ್ವಕಾಲ (crisis of character and wisdom) : ಮಾನವನ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ಪರೀಕ್ಷೆಯ ಕಾಲ. ಹಿಂದೆಂದೂ ಲಭಿಸದಂಥ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯ ಮೂಲಗಳು ವಿಜ್ಞಾನದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಮೂಲಕ ಅವನ ಹಸ್ತಗತವಾಗಿವೆ. ಅದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದಾದ ಎರಡು ಮಾರ್ಗದರ್ಶಕಗಳೂ (sign-posts) ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಕಾಣುತ್ತಿವೆ. ಒಂದನ್ನು ಹಿಡಿದರೆ, ಅದು ಆತ್ಮವಿನಾಶದಲ್ಲಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತದೆ. ಮತ್ತೊಂದನ್ನು ಹಿಡಿದರೆ, ಇಡೀ ನಾಗರಿಕತೆಯನ್ನು ಸುಖ ಶಾಂತಿಗಳ ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಗಳಿಗೆ ಏರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯ. ಯಾವ ಹಾದಿಯನ್ನು ಅವನು ಚುನಾಯಿಸುತ್ತಾನೆಂಬುದು ಅವನ ಮನೋಭಾವವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ದ್ವೇಷ ಪ್ರೇರಿತನಾದರೆ, ವಿನಾಶದ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತಾನೆ. ಮಾನವೀಯತೆಯ ಗುಣಗಳಲ್ಲಿ ಉದ್ಯುಕ್ತನಾದರೆ, ಜಗತ್ತಿನ ಕಲ್ಯಾಣಕ್ಕೆ ಕಾರಣನಾಗುತ್ತಾನೆ. ಮಾನವನು ಮಾನವನಾಗಿಯೇ ಉಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಈ ಎರಡನೆಯ ಹಾದಿಯನ್ನೇ ಹಿಡಿಯುವುದು ಆವಶ್ಯಕ.

ಮಾನವನ ಕಾರ್ಯಗಳನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವ ಭಾವನೆಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿರೋಧ ಪ್ರವೃತ್ತಿಗಳಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸತ್ ಮತ್ತು ಅಸತ್ ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಮನಶ್ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಪ್ರತಿಯೊಬ್ಬ ವ್ಯಕ್ತಿಯ ನಡವಳಿಕೆಗಳೂ ಅವನ ಹುಟ್ಟುಗುಣಗಳ (heredity) ಭಾಗದಿಂದಲೂ, ಹೊರಗಿನ ಆವರಣ (environment) ದಿಂದ ಕಂಡುಕೊಳ್ಳುವ ಪ್ರಭಾವದ ಭಾಗದಿಂದಲೂ ರೂಪಿತ ವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವುದು ಪ್ರಧಾನವಾದುದು ಎಂಬುದನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ತಿಳಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಆದರೂ, ತನ್ನ ಜೀವನಮಾರ್ಗವನ್ನು ರೂಪಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸರಿಯಾದ ವಿದ್ಯೆಯನ್ನು ಅರಿಯಲು ಪ್ರಯತ್ನ ಮಾಡಿದರೆ, ಒಟ್ಟಿನ ಪರಿಣಾಮವು ಒಳ್ಳೆಯದಾಗುವುದರಲ್ಲಿ ಸಂದೇಹವಿಲ್ಲ. ಸರಿಯಾದ ವಿದ್ಯೆಯೆಂದರೆ, ಜ್ಞಾನಲಾಭದ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಅದನ್ನು ಸನ್ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಪ್ರವರ್ತಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಹೃದಯವೈಶಾಲ್ಯ, ಅನುಕಂಪ ಮುಂತಾದ ಮಾನವೀಯ ಗುಣಗಳ ಪೋಷಣೆಯನ್ನು ಮಾಡುವುದು. ಹೀಗೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅವನ ಚಿತ್ತವೃತ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಅಸದ್ಗುಣಗಳ ದಮನವೂ,

ಸದ್ಗುಣಗಳ ವೃದ್ಧಿಯೂ, ತಾವಾಗಿಯೇ ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತವೆ. ಇಂಥ ಜನಗಳ ಸಮುದಾಯವಾದ ಸಮಾಜವೂ, ಹಲವು ಸಮಾಜಗಳ ಒಕ್ಕೂಟದಿಂದ ಒಂದು ರಾಷ್ಟ್ರವೂ, ಹಲವು ರಾಷ್ಟ್ರಗಳ ಮಿಲನದಿಂದ ಇಡೀ ಜಗತ್ತೂ ಪ್ರಗತಿ ಹೊಂದುವುದು ಸಹಜವಾಗಿಯೇ ಆಗುತ್ತದೆ.

ಆದ್ದರಿಂದ ಸಮಾಜಕ್ಕೆ ಇಂದು ತಲೆದೋರಿರುವ ವಿಪತ್ತನ್ನು ಪರಿಹಾರ ಮಾಡಲು ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಬೇಕು. ಒಂದು ತತ್‌ಕ್ಷಣ ದಲ್ಲಿಯೇ ಕೈಗೊಳ್ಳಬೇಕಾದ ಶೀಘ್ರ ಕಾಲದ (short-term) ಪರಿಹಾರಮಾರ್ಗ. ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದರೆ, ಮೊದಲು ಎಲ್ಲ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳೂ – ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಅತಿ ಪ್ರಬಲ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳು, ತಾವು ಶೇಖರಮಾಡಿರುವ ಪರಮಾಣುಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಇತರ ವಿನಾಶ ಕಾರಕವಾದ ಶಸ್ತ್ರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮೂಲನ ಮಾಡಬೇಕು. ಎರಡನೆಯದು – ಅವುಗಳು ಮತ್ತೆ ಇಂಥ ಅಸ್ತ್ರಗಳನ್ನು ತಯಾರು ಮಾಡುವುದಿಲ್ಲವೆಂದು ಮಾಡುವ ಸಂಕಲ್ಪ. ಮೂರನೆಯದು – ಇನ್ನು ಮುಂದೆ ಸಂಪತ್ ಸಮೃದ್ಧ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳು ತಮ್ಮ ಸಂಪತ್ತಿನ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವನ್ನಾದರೂ ಇತರ ನಿರ್ಭಾಗ್ಯ ಮತ್ತು ಬೆಳೆಯುತ್ತಿರುವ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳ ಅಭಿವೃದ್ಧಿಗೆ ನೆರವಾಗಲು ಉದ್ಯುಕ್ತರಾಗಬೇಕು. ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಯಾವ ಯಾವ ಒಳ್ಳೆಯ ಪ್ರಯೋಜನಗಳು ಸಾಧ್ಯವೋ ಅವುಗಳನ್ನು ಹಿಂದುಳಿದ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳ ಜನಗಳಿಗೆ ಲಭಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿ ಅವರ ಜೀವನದ ಮಟ್ಟವು ಏರುವಂತೆ ಸಹಾಯ ಮಾಡಬೇಕು. ನಾಲ್ಕನೆಯದು – ಜನಾಂಗಗಳ ನಡುವೆ ಉದ್ಭವಿಸ ಬಹುದಾದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹಿಂಸಾತ್ಮಕ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲದೆ ಶಾಂತಿಯುತ ವಿಧಾನ ಗಳಲ್ಲಿಯೇ ಪರಿಹಾರವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಈ ಎಲ್ಲ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಗತಿಯು ಕಂಡುಬರುತ್ತಿರುವುದು ಆಶಾದಾಯಕ ವಾಗಿದೆ. ಮುಂದೆ ಒದಗಬಹುದಾದ ಮಹಾಯುದ್ಧವು ಏನಾದರೂ ದುರ್ದೈವದಿಂದ ಪ್ರಾಪ್ತವಾದರೆ, ಅದರ ಭೀಕರತೆಯ ಪರಿಣಾಮವೂ, ಸರ್ವನಾಶದ ಲಕ್ಷಣಗಳೂ, ಜಯಗೊಳ್ಳುವರು ಮತ್ತು ಸೋತವರು ಎಂಬ ಯಾವ ಭೇದವೂ ಇರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲವೆಂಬ ಭಾವನೆಯೂ ಎಲ್ಲರಿಗೂ ಚೆನ್ನಾಗಿ ಮಂದಟ್ಟಾಗಿವೆ. ಇದರಿಂದಲೇ, ಅಲ್ಲಲ್ಲಿ, ಆಗಾಗ್ಗೆ ಕಂಡುಬರುವ ಪುಟ್ಟ ಪುಟ್ಟ ಜಗಳಗಳು ಮತ್ತು ವಿವಾದಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಶೀತಲ ಯುದ್ಧದ ಮನೋಭಾವವಿದ್ದರೂ, ಹಿಂದಿನ ಮಹಾ ಯುದ್ಧದ ಅಂತ್ಯದಿಂದ ಇಂದಿನವರೆಗೆ (ಸುಮಾರು 25 ವರ್ಷದ ಕಾಲದಲ್ಲಿ) ಯಾವ ಜಗದ್‌ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಘಟನೆಗಳೂ ಒದಗಿಲ್ಲ. ಇದೊಂದು ಶುಭ ಸೂಚನೆ. ಇದರೊಂದಿಗೆ, ಕೆಲವು ಕಾಳಗಗಳಲ್ಲಿ ಮಹಾರಾಷ್ಟ್ರಗಳು ಹಿಂತೆಗೆಯುತ್ತಿರುವುದೂ ತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ವಿಷಯ.

ನಾಗರಿಕತೆಯ ಭವಿಷ್ಯವು ಸುವ್ಯವಸ್ಥಿತವಾಗಿ, ಸುಖ ಸಂಪತ್ತುಗಳ ಹಾದಿಯಲ್ಲಿ

ನಡೆಯಬೇಕಾದರೆ, ಒಂದು ದೀರ್ಘ ಕಾಲದ (long-term) ಯೋಜನೆಯು ಆವಶ್ಯಕ. ಮುಂದಿನ ಜನಾಂಗದ ರೂಪರೇಖೆಗಳನ್ನು ಸನ್ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಪ್ರವರ್ತಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಸುಭದ್ರ ತಳಹದಿಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವುದನ್ನು ಇದು ಅವಲಂಬಿಸಿದೆ. ಮುಂದಿನ ಪೀಳಿಗೆಗಳಲ್ಲಿ ಸಮಾಜದಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸಬೇಕಾಗಿರುವ ಜನತೆಯನ್ನು ಶೈಶವಾವಸ್ಥೆಯಿಂದಲೂ ಸರಿಯಾದ ವಿದ್ಯಾಸಂಸ್ಥೆಗಳ ಮೂಲಕ ತಯಾರುಮಾಡುವ ಹೊಣೆಗಾರಿಕೆಯನ್ನು ಅರಿತು ಕಾರ್ಯಗತಮಾಡುವ ಪ್ರಯತ್ನವನ್ನು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಬೇಕು. ಇದೇನೂ ಅಷ್ಟು ಸುಲಭಸಾಧ್ಯವಾದ ಕೆಲಸವಲ್ಲ. ಅಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಫಲಕಾರಿಯಾಗುವ ನಿರೀಕ್ಷಣೆಯೂ ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೂ, ಈ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರವರ್ತಿಸಿ, ಮುಂದೆ ಬರುವ ಜನಾಂಗಗಳಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸಬೇಕಾಗುವ ಜನತೆಯ ನಡವಳಿಕೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ವ್ಯವಹಾರಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ದ್ವೇಷ ಮನೋಭಾವವು ತೊಲಗಿ, ಸೌಹಾರ್ದ ಮತ್ತು ಅನುಕಂಪಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವ ಸನ್ನಿವೇಶಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕಾದುದು ಅನಿವಾರ್ಯ. ಹಾಗೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಇಂದು ತಲೆದೋರಿರುವ ಹಿಂಸಾಪ್ರವೃತ್ತಿಯ ಮನೋಭಾವಗಳೂ, ದ್ವೇಷಾಸೂಯೆಗಳೂ, ಸ್ವಾರ್ಥಗಳೂ ರಾಷ್ಟ್ರೀಯತೆಯೆಂಬ ಹೆಸರಿನಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಅನರ್ಥಗಳೂ ತೊಲಗಿ, ನಮಗೆ ಇಂದು ಕನಸಾಗಿರುವ 'ಒಂದು ಸಮಾಜ', 'ಒಂದು ಜಗತ್ತು' ಎಂಬ ಭಾವನೆಗಳು ಬೆಳಕನ್ನು ಕಾಣಬಲ್ಲವು. ಇದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಪ್ರಯತ್ನಗಳಲ್ಲಿ ಈಗಲೇ ತೊಡಗಿದರೆ ಕ್ಷೇಮ.

10.5 ಮಾನವನ ಭವ್ಯ ಭವಿಷ್ಯದ ಆಶಯ

ಪರಿಹಾರಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಿದ ಮೇಲೆ ಕೊನೆಯದಾಗಿ ಇಂದಿನ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಮಾನವನ ಭವಿಷ್ಯದ ವಿಚಾರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಆಶಯವನ್ನು ವ್ಯಕ್ತಪಡಿಸಬಹುದು. ಇಂದು ಜಗತ್ತಿನಲ್ಲಿ ನಾವು ಕಾಣುವ ಅಸಾಧ್ಯವಾದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯೆಲ್ಲವೂ ಮಾನವನ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯ ಶ್ರೇಷ್ಠ ಮಟ್ಟದ ವಿಕಾಸದಿಂದಲೇ ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆಯೆನ್ನಬಹುದು. ಯಂತ್ರಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದಿಂದ ದೈಹಿಕ ಶ್ರಮವನ್ನು ತೊಲಗಿಸಿ, ತನ್ನ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಮಿದುಳಿನ ಶ್ರಮವನ್ನೂ ಬಹುಮಟ್ಟಿಗೆ ಕಡಮೆಮಾಡಿ, ಸಾವಿರಾರು ಜನರು ಹತ್ತಾರು ದಿವಸಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಧಿಸಬಹುದಾದ ಗಣಿತಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳನ್ನು ಕೆಲವೇ ಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ಮಾಡಬಲ್ಲ ಗಣಕ ಯಂತ್ರಗಳೂ (computers) ಸಾರ್ವತ್ರಿಕವಾಗಿ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿವೆ. ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ಕೊನೆಗೊಂಡ ಪ್ರಪ್ರಥಮ ಸಾಹಸದಲ್ಲಿ ಮಾನವಚಾಲಿತ ಚಂದ್ರಯಾನ ಯಂತ್ರಗಳೆಲ್ಲವೂ ಅಷ್ಟು ದಕ್ಷತೆಯಿಂದ ಕೆಲಸ ಮಾಡಿದ್ದರೆ, ಅವು ಈ ಗಣಕ ಯಂತ್ರಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಮಾತ್ರ ಆಗಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಎರಡು ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಕಂಡುಬಂದಿರುವ

ಅಸಾಧಾರಣವಾದ ಪ್ರಗತಿಯಿಂದ ಮನುಷ್ಯನು ತನ್ನ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಇನ್ನೂ ಉತ್ತಮ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿನಿಯೋಗಿಸಿ, ಸಾಂಸ್ಕೃತಿಕ ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಗತಿ ಹೊಂದಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಮನಃಪ್ರವೃತ್ತಿಯೂ ಅವನಲ್ಲಿ ಇದ್ದೇ ಇದೆ. ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ ಸತ್ ಮತ್ತು ಅಸತ್ ಮಾರ್ಗಗಳು ಅವನಲ್ಲಿ ರೂಢಗೊಂಡಿವೆ. ಇದೇನೂ ಅಸಹಜವಾದುದಲ್ಲವೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರಕೃತಿಯೂ ಈ ವಿಧವಾದ ದ್ವಂದ್ವಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಿದೆ. ಒಂದೊಂದು ಕಣಕ್ಕೂ ಒಂದೊಂದು ಪ್ರತಿ ಕಣವು ಇದ್ದೇಇದೆ; ಒಂದು ಧನಕ್ಕೆ ಒಂದು ಋಣವಿದ್ದೇಇದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಇವುಗಳಿಗೂ ಮಾನವನ ಮನಃಪ್ರವೃತ್ತಿಯಲ್ಲಿರುವ ದ್ವಂದ್ವ ಮನೋಭಾವಗಳಿಗೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಏನೆಂದರೆ, ಮನುಷ್ಯನಿಗೆ ಇರುವ ಪ್ರಕೃತಿದತ್ತವಾದ ದರ್ಶನ ಮಾರ್ಗ (direction). ಇದರಿಂದಲೇ ಯಾವುದು ಒಳ್ಳೆಯದು ಯಾವುದು ಕೆಟ್ಟದ್ದು ಎಂಬುದನ್ನು ವಿವೇಕಯುತವಾಗಿ ನಿರ್ಧರಿಸಿ, ಸಮಾಜಹಿತವೇ ಒಳ್ಳೆಯದೆನ್ನಿಸಿಕೊಳ್ಳಬಹುದೆಂಬುದನ್ನು ಅರಿಯುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು ಮನುಷ್ಯನಲ್ಲಿ ಅಡಗಿದೆ.

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಎಲ್ಲ ಶಾಸ್ತ್ರಗಳೂ ಶ್ರಮ ವಹಿಸಿರುತ್ತವೆ. ವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಅವಲೋಕಿಸಿ ಪ್ರಪಂಚದ ಅತ್ಯಂತ ಮೇಧಾವಿಗಳಾದ ವಿದ್ವಾಂಸರೂ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೂ ಕೂಡ ಒಂದು ಅಭಿಪ್ರಾಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಾರೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳಬಹುದಾದರೆ, ಜಗತ್ತಿನ ಮತ್ತು ವಿಶ್ವದ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಒಂದು ಶಿಸ್ತನ್ನು ನೋಡಿದರೆ, ಇವುಗಳಿಗೆಲ್ಲ ಕಾರಣ ಭೂತವಾದ ಒಂದು ಅವ್ಯಕ್ತ ಶಕ್ತಿಯ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ನಿತ್ಯಜೀವನಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಸಿ, ಆ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಮನಗಂಡರೆ, ಸರ್ವಜನ ಹಿತವೇ ತನ್ನ ಲಕ್ಷ್ಯವೆಂಬ ಭಾವನೆಯು ಮಾನವನ ಶ್ರೇಯಸ್ಸಿಗೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆ.

ಶ್ಲೋಕಾರ್ಧೇನ ಪ್ರವಕ್ಷ್ಯಾಮಿ
ಯದುಕ್ತಂ ಗ್ರಂಥಕೋಟಿಭಿಃ ।
ಪರೋಪಕಾರಃ ಪುಣ್ಯಾಯ
ಪಾಪಾಯ ಪರಪೀಡನಮ್ ॥

ಈ ಸೂಕ್ತಿಯ ಅರ್ಥವನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಿ ಮಾನವನು ತನ್ನ ಭವಿಷ್ಯವನ್ನು ರೂಪಿಸಿಕೊಂಡು ಅದನ್ನು ಭವ್ಯವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡುತ್ತಾನೆಂಬುದನ್ನು ನಾವು ದೃಢವಾಗಿ ನಂಬಲು ಸಾಕಷ್ಟು ನಿದರ್ಶನಗಳಿವೆ.

ಪಾರಿಭಾಷಿಕ ಪದಗಳು

ಅಣು	Molecule
ಅತಿತಪ್ತ	Super-heated
ಅರ್ಧಜೀವಿತಕಾಲ	Half-life period
ಅರ್ಧವೃತ್ತ	Semi-circle
ಅಧೋಬೀಜಾಂಶಕಣ	Sub-nuclear particle
ಅನುಪಾತ	Ratio
ಅನುರಣನ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ	Resonance accelerator
ಅನುರೂಪತೆ	Parity
ಅನೈಜ	Virtual
ಅಪಸರಣ	Divergent
ಅಭಿಧಮನಿ	Vein
ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ	Continuous
ಅವಿಪರ್ಯಸ್ತ	Irreversible
ಆಕರ್ಷಕ	Attractive
ಆವೇಗ	Momentum
ಇಗ್ಗುಂಡು	Dumb-bell
ಉತ್ಕಟ	Critical
ಉತ್ಪನ್ನ	Product
ಉತ್ಸರ್ಜನ	Emanation
ಏಕಮುಖ ವಿದ್ಯುತ್ ಪರಿವರ್ತನ	Rectification (Voltage)
ಕವಾಟ	Valve
ಕಾಂತತೆ	Magnetism
ಕಾಂತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲ ಲೇಖಕ	Magnetic spectrograph
ಕಿಡಿ	Spark
ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆ	Artificial transmutation
ಗಣಕ	Counter
ಗತಿ–ಭದ್ರ ಪಥಗಳು	Phase-stable orbits
ಗ್ರಹಣ	Capture ; absorption

ಜಡವಸ್ತು; ದ್ರವ್ಯ	Matter
ಜಡಾಂಶ	Mass
ಜಾಡು	Trail
ಜಾಲಕ	Lattice ; grating
ಜೀವಿ	Organism
ಜೈವಿಕ	Organic
ಟೊಳ್ಳು	Empty
ತುಣುಕು ಅಲೆ	Microwave
ತೂರುವ ಶಕ್ತಿ	Penetrating power
ಧಾತು	Element
ದ್ವಿಧ್ರುವ	Diode
ಪಥ	Orbit
ಪಥದ್ಯೋತಕ	Tracer
ಪದರ	Foil
ಪದವಿನ್ಯಾಸ	Expression
ಪರಮಾಣು	Atom
ಪರಮಾಣುಕೇಂದ್ರ, ಬೀಜಾಂಶ	Atomic nucleus
ಪರಮಾಣು ಜಡಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ	Mass number
ಪರಮಾಣು ತೂಕ	Atomic weight
ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕಣ	Atomic nucleon
ಪರಮಾಣು ವಿದಲನ	Atomic fission
ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ	Atomic number
ಪರವಲಯಾಕೃತಿ	Parabolic trace
ಪರಿವರ್ತಕ	Transformer
ಪುನರಾವರ್ತನ ಕೋಷ್ಟಕ	Periodic table
ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಂದೋಲಕ	Alternating current oscillator
ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಕೂಪ	Potential well
ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರ	Potential difference
ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರ ಕೋಟೆ	High potential barrier
ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ	Reaction-energy
ಪ್ರತಿರೋಧ	Resistance
ಪ್ರಪಾತ	Cascade

ಪ್ರೇರೇಪಿತ	Induced
ಪ್ರೇಷಕ	Transmitter
ಫಲಕ	Plate
ಬಲ	Force
ಬಾವು	Tumour
ಬಾಷ್ಪಸಮೂಹಾಲಯ ; ತುಂತುರು ಆಲಯ ; ಮೇಘಾಲಯ	Cloud chamber
ಬೀಜಕಣ	Nucleon
ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ	Nuclear reactor
ಬೀಜಾಂಶ	Nucleus
ಬುದ್ಬುದ	Bubble
ಬೃಂಹಣ	Magnification
ಭದ್ರತೆ	Stability
ಭ್ರಮಣ	Spin ; rotation
ಮಾರ್ಗಪಥ	Track
ಮೇಲ್ಮೈ ಕರ್ಷಕಬಲ	Surface tension
ಮಂದಕಾರಕ	Moderator
ಯುರೇನಿಯಂ ಅತೀತ ಧಾತುಗಳು	Trans-uranic elements
ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತು	Target
ಲೇಪದ್ರವ	Emulsion
ವಕ್ರವಿಯೋಜನೆ	Diffraction
ವಲಯ	Shell
ವಾಸ್ತವಪ್ರಾಯ	Virtual
ವಾಸ್ತವಾಂಶ	Fact
ವ್ಯಾಪಕದೂರ	Range
ವಿಕರ್ಷಕ; ಅಪಕರ್ಷಕ	Repulsive
ವಿಕಿರಣ	Radiation
ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ	Radio-activity
ವಿಕಿರಣ ನಿರ್ದೇಶಕ	Radio-active tracer
ವಿಚಿತ್ರ ಕಣ	Strange particle
ವಿಚಿತ್ರತೆಯ ಸಂಖ್ಯೆ	Strangeness number

ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶ	Battery
ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕತ್ವ	Insulation
ವಿದ್ಯುತ್ ಮಾಪಕ	Electrometer
ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹೀಕಣಗಳು	Ions
ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ; ಅಯನೀಕರಣ	Ionisation
ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆ	Electrical discharge
ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಗ್ರಾಹಕ; ಸಂಗ್ರಾಹಕ ಶಕ್ತಿ	Condenser-capacity
ಶಕ್ತಿ	Energy
ಶಾಖಗ್ರಾಹಕ	Endo-thermic
ಶಾಖವಿನಿಮಯಕ	Heat-exchanger
ಶಾಖೋತ್ಸರ್ಜಕ	Exo-thermic
ಶೀತಕವಸ್ತು	Coolant
ಸಮತಾಪಕ	Isothermal
ಸಮಮಿತಿ	Symmetry
ಸಮಸ್ಥಾನಿ	Isotope
ಸಮಸ್ಥಿತಿ–ಜಡಾಂಶ	Rest-mass
ಸಮೋಷ್ಣಕ	Adiabatic
ಸರಪಳಿ ; ಶ್ರೇಣಿ	Chain ; series
ಸರಳು	Rod
ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಿದ್ಧಾಂತ	Theory of relativity
ಸಂತಾನವರ್ಧಕ	Breeder
ಸಂತುಷ್ಟ	Saturated
ಸಂಭವ	Phenomenon ; event
ಸಂಯೋಜನೆ	Fusion
ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿ	Cylinder
ಸ್ಫುರಣ	Scintillation ; pulse
ಸ್ಫುರಣಶಕ್ತಿ	Fluorescence
ಕ್ಷಯ; ಕ್ಷೀಣತೆ; ಶಿಥಿಲತೆ	Decay
ಕ್ಷಿಪಣಿ	Missile

Cover printed at the Eastern Press, Bangalore-2